بِسۡمِ ٱللَّهِ ٱلرَّحۡمَٰنِ ٱلرَّحِيمِ

وقل أعملوا فسيري الله عملكم ورسوله
والمؤمنون

صدق الله العظيم

7/7/2013

محركات الديزل وتطبيقاتها البحرية

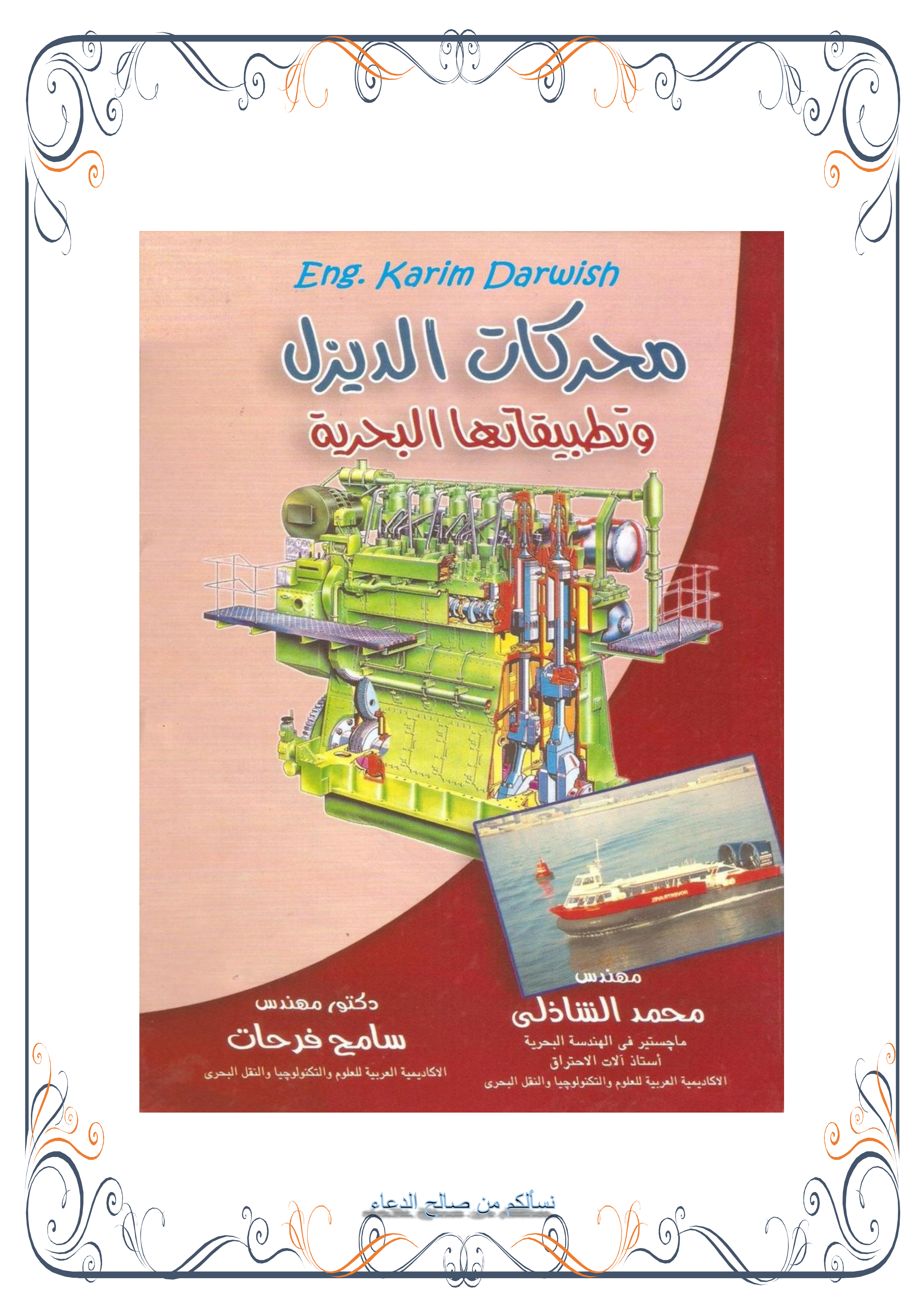
نسألكم من صالح الدعاء

المهندس / محمد إبراهيم عبد الرحمن
الشاذلي

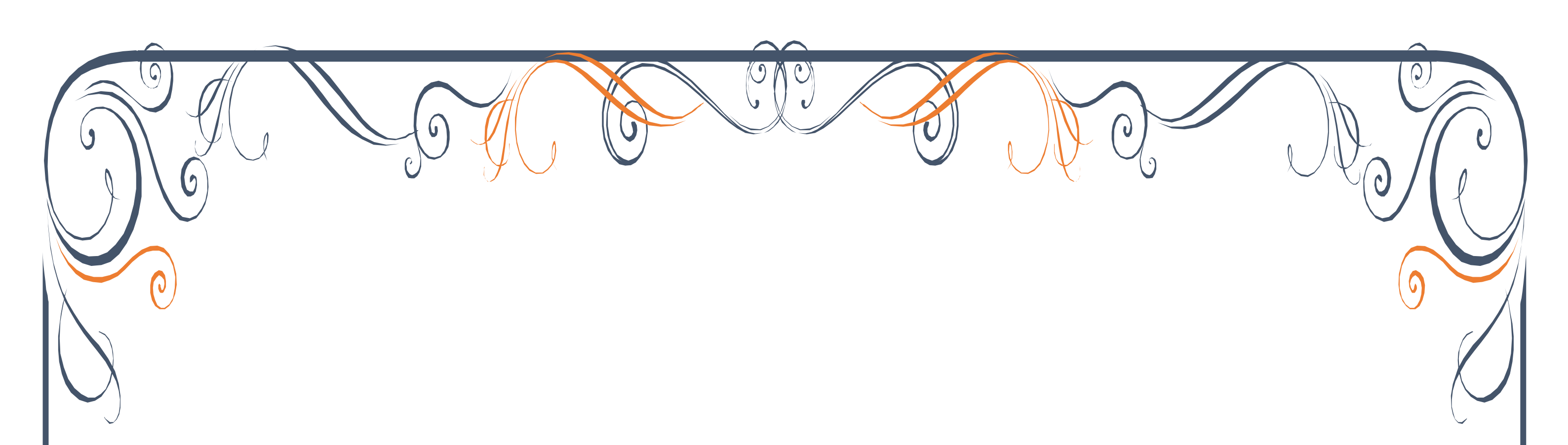
إعــداد

دكتور مهندس / سامح فرحات

لا تنسونا من صالح الدعاء
وفقنا الله وإياكم



Eng. Karim Darwish
محركات الديزل
وتطبيقاتها البحرية
مهندس
محمد الشاذلى
ماجستير فى الهندسة البحرية
أستاذ آلات الاحتراق
الاكاديمية العربية للعلوم والتكنولوجيا والنقل البحرى
دكتور مهندس
سامح فرحات
الاكاديمية العربية للعلوم والتكنولوجيا والنقل البحرى
نسألكم من صالح الدعاء



محركات الديزل

وتطبيقاتهـــا البحـــرية

المهندس

محمد ابراهيم عبد الرحمن الشاذلى

ماجستير فى الهندسة البحرية

أستاذ الآت الاحتراق

الأكاديمية العربية للعلوم والتكنولوجيا والنقل البحرى

الطبعة العاشرة

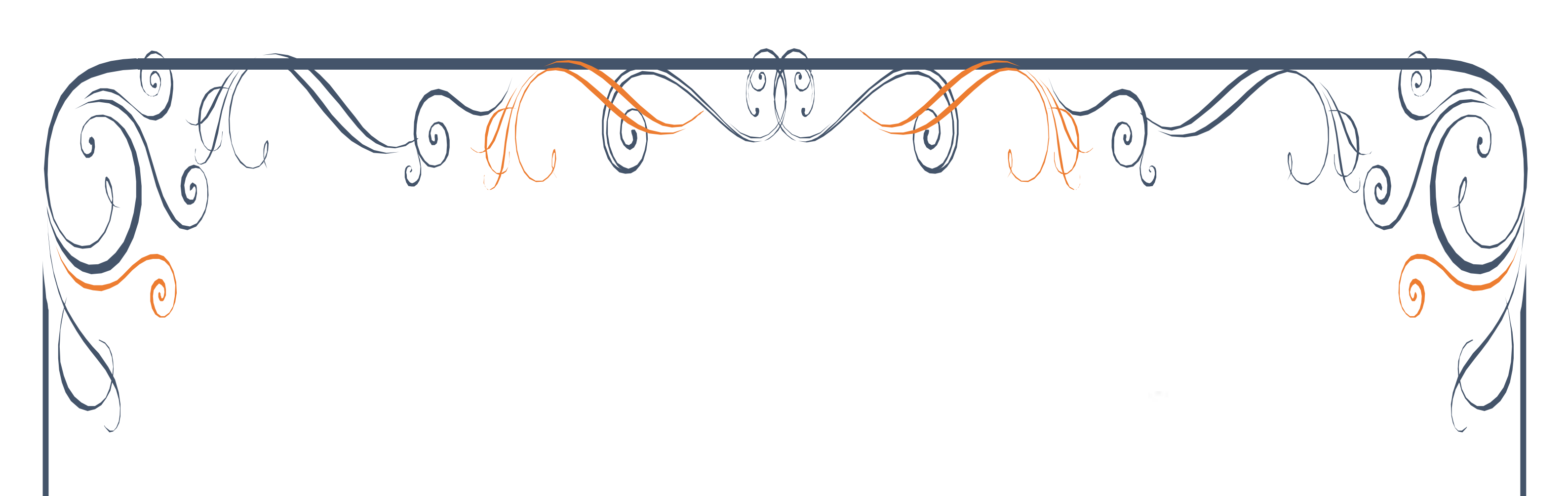
شارك فى الاعداد

دكتور مهندس

سامح فرحات

الأكاديمية العربية للعلوم والتكنولوجيا والنقل البحرى





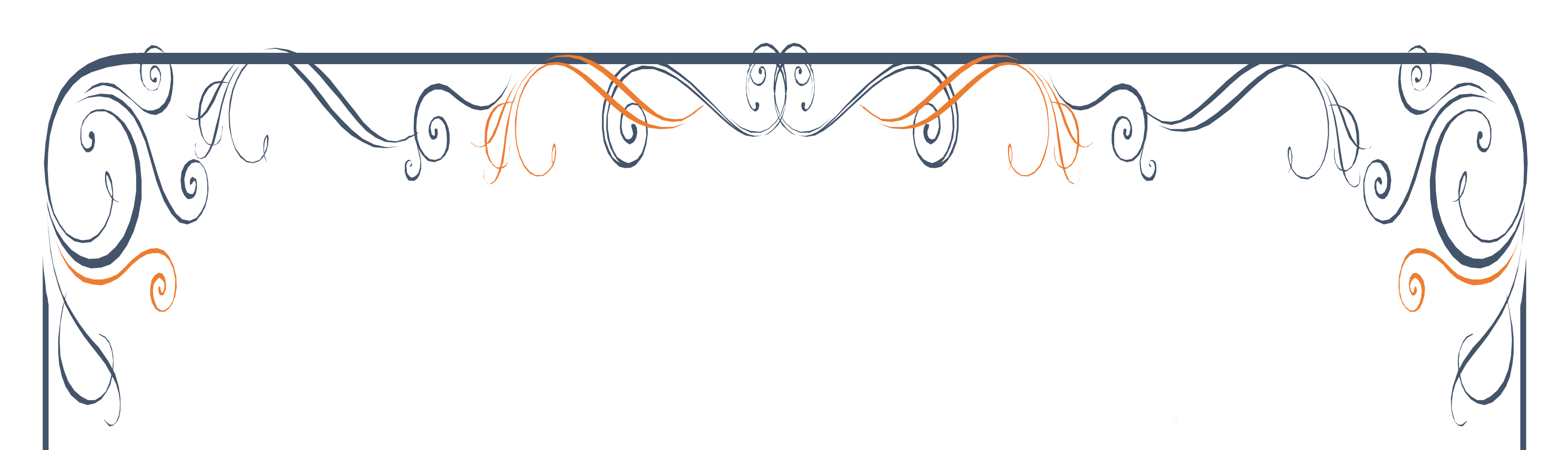
بسم الله الرحمن الرحيم

وقل اعملوا فسيرى الله عملكم ورسوله والمؤمنون

صدق الله العظيم

نسألكم من صالح الدعاء





كلمة المؤلف

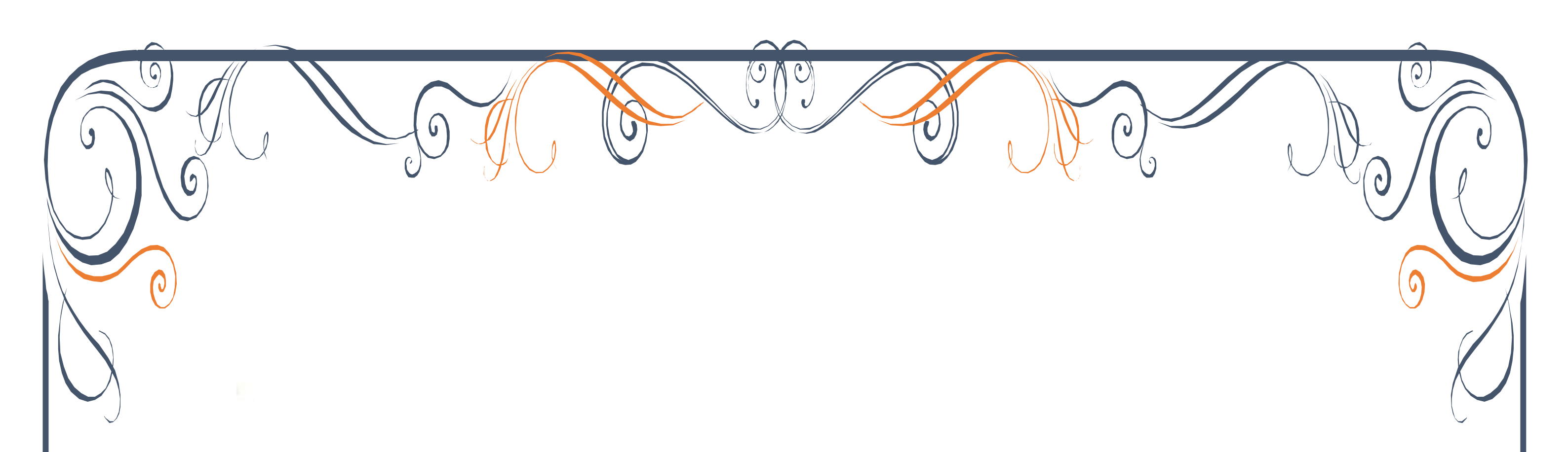
أحمد الله تعالى وأشكر فضله على توفيقى لأقدم لأبناء الوطن العربى خلاصة سنوات عديدة من الدراسة والخبرة فى مجال محركات الديزل واستخدامها على السفن باللغة العربية فى أسلوب سهل يسير وسرد جميع المصطلحات الفنية باللغة الإنجليزية ، لتغطى ما يحتاج إليه دارسى الشهادات التأهيلية البحرية ، وخريجى كليات الهندسة والمعاهد الفنية ، وكذلك العاملين فى المجال البحرى والصناعى ، الذين يحتاجون لمزيد من المعرفة فى مادة تخصصهم ويجدون صعوبة فى تناول المراجع الأجنبية .

وقد دفعنى لإعداد هذا الكتاب إيمانى العميق بأهمية تدعيم المكتبة العربية بالكتب الفنية لخدمة القارئ العربى فى هذا العصر الذى يتسم بالتحدى العلمى والحضارى الذى تواجهه أمتنا العربية ، فإنه يسد نقصاً دقيقاً فى هندسة محركات الديزل وخاصة ارتباطها بتشغيل السفن .

لقد أمضيت فى تخصصى هذا ما يزيد عن ٤٠ عاماً بين الخبرة العملية والدراسات النظرية ، فكان لزاماً على أن أوفر لكل من يرغب فى زيادة المعرفة فى هذا المجال مرجعاً – ربما يكون الأول من نوعه – بأسلوب سهل وشامل ، وقد اتبعت طريقاً سهلاً فى عرض الأمور حيث قصدت الإسهاب أحياناً والاختصار أحياناً أخرى ، بغرض التركيز على نقاط معينة ذات أهمية بالغة . ولم يفوتنى ضرورة الإلمام بالمعرفة النظرية والتعاريف العلمية ، بالإضافة إلى كثير من الرسومات السهلة والجداول التوضيحية .

ويضم هذا المرجع دراسة مستفيضة لمحركات الديزل البطيئة والمتوسطة السرعة تشتمل على الأجزاء الرئيسية والمنظومات الأساسية لنماذج متداولة





وأخرى قديمة وما زالت بمجال التشغيل ، ولها صفة خاصة يجب أن يلـم بهـا الدارس ، وفكرة كافية عن مـا يتعلـق بهـا مـن علـم الحركـة والاتـزان والاهتزازات، كذلك دراسة عملية وافية عن التشغيل والصيانة والأعطال وطرق علاجها ، هذا بالإضافة إلى قدر وافى عن التشغيل الآلى ونظم الـتحكم . ولـم أتوقف عند هذا الحد،بل وجدت أنه من الضرورى الإلمام بـبعض التنظيمـات الإدارية الواجب معرفتها لتحقيق سلامة الأداء وكفاءة التشغيل .

ولقد تميزت هذه الطبعة عن سابقتها بأن أعيد كتابة النص بأسـلوب جديـد لبعض النقاط لسهولة الفهم ، وفى البعض الآخر تم دعمها بمعلومـات إضـافية ضرورية ، هذا علاوة على شمولها للتطورات الحديثـة والأخيـرة لمحركـات الديزل البحرية ، بالإضافة إلى الاستغلال الأمثل للطاقة ومتطلبـات المنظمـات الدولية لمنع تلوث البيئة .

وآمل أن يكون هذا الأداء قد حقق الهدف المنشود فى عرض الموضـوعات المشار إليها .

ويسعدنى أن أتقدم بخالص الشكر والتقدير لكل من ساهم فى إعداد هذا العمل وإخراجه إلى النور وأخص بالذكر الدكتور سامح فرحات على تعاونه الصادق .

والله ولى التوفيق ،،

الاسكندرية فى ٢٠٠٥

مهندس / محمد ابراهيم الشاذلى







كلية الهندسة
قسم الهندسة البحرية وعمارة السفن

كتاب محركات الديزل وتطبيقاتها البحريه
تأليف المهندس محمد ابراهيم الشاذلى

شمل هذا الكتاب بعاليه البنود الخاصه بدراسه محركات الديزل للمهندس البحرى • فقد تناول المؤلف شرح مختلف أجزاء المحركات الديزل وملحقاتها بعمق واف • وبأسلوب سهل يسير مستعينـا بالرسومات التوضيحيه اللازمه والتعبيرات الفنيه السليمه كما استخدم المؤلف النظام الحديث للوحدات وهى S.I. • مستعينا بأهم المراجع المتقدمه فى مجال محركات الديزل البحريه مما جعل هذا الكتاب فى مستوى المراجع المتقدمه •

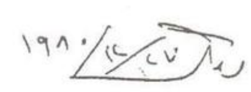
واننى أذ أتقدم بالتهنئه للمؤلف السيد المهندس محمد ابراهيم الشاذلى • لما بذله من جهد مشكور لاظهار هذا الكتاب بهذه الصوره المشرفه • فاننى اعتبره اضافه قيمه لمكتبتنا العربيه • حيث أنه يسد نقصا حقيقيا فى مراجع محركات الديزل باللغه العربيه والله ولى التوفيق •

١٩٨٠/١٢/٢١

رئيس القسم

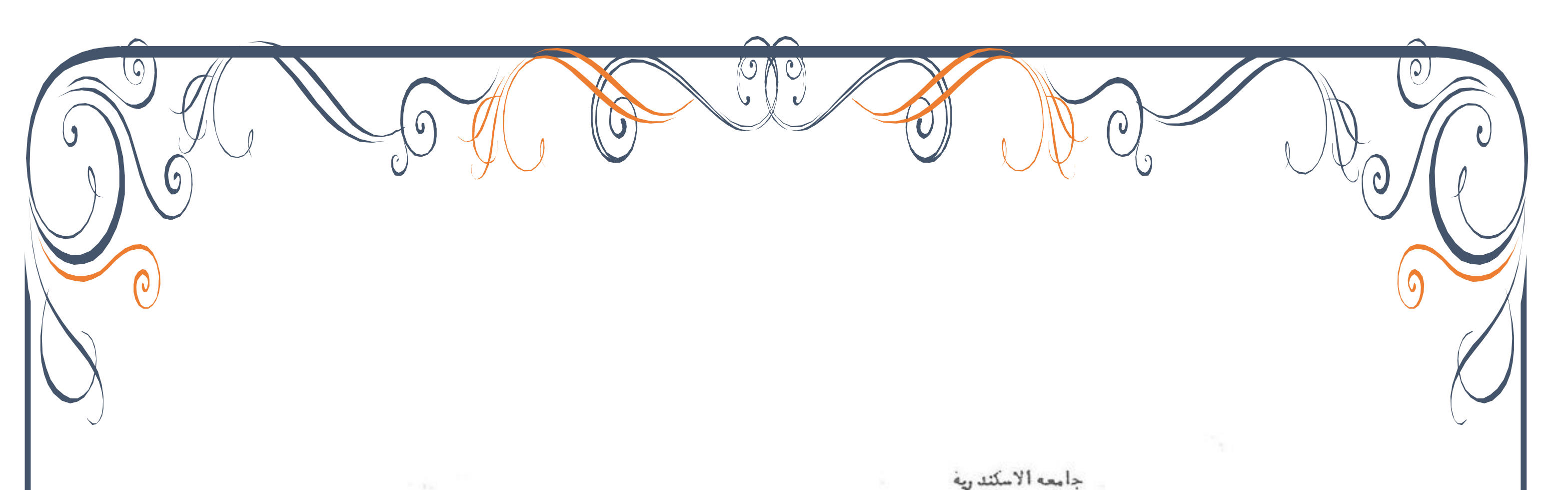
أ • د • فؤاد بهجت

يعتمد التوقيع









جامعه الاسكندريه
كليه الهندسه
قسم هندسه القوى الميكانيكيه

كتاب "محركات الديزل وتطبيقاتها البحريــــة"

تأليف : المهندس م. محمد ابراهيم الشاذلـــــى

تناول الكتاب دراسة مستفيضة عن محركات الديزل البحرية وما يتعلـــق بها من علم الحركه والاتزان والاهتزاز والتشغيل والصيانه والسلامة وقدر وافر عـــن التشغيل الآلى ونظم التحكم ٠

وقد اتبع المؤلف طريقا سهلا فى عرض الموضوعات الأمر الذى يسهـــل على الدارس الذى تنقصه المعرفه السابقة من متابعه الموضوعات ، هذا بالاضافة الى الاستعانه بالرسومات التوضيحيه السهله

يعتبر الكتاب مرجعا مفيدا باللغه العربيه فى مجال محركات الديـــزل البحريه ، وقد احتوى على ترجمه لجميع المصطلحات الفنيه باللغتين الانجليزيـة والعربيه ، ولذا فانه يعتبر اضافة قيمه لمكتبتنا العربيه ٠

ولا يسعنى فى هذا الصدد الا أن اشيد بالمجهود الفائق والعمـــل القيم والمثابره الذى بذلها المؤلف فى سبيل اظهار هذا الكتاب لخدمه المجال البحرى والعاملين به ، متمنيا دوام التوفيق ٠

١٩٨٠/١٢/١٥

رئيس قسم هندسة القوى الميكانيكية

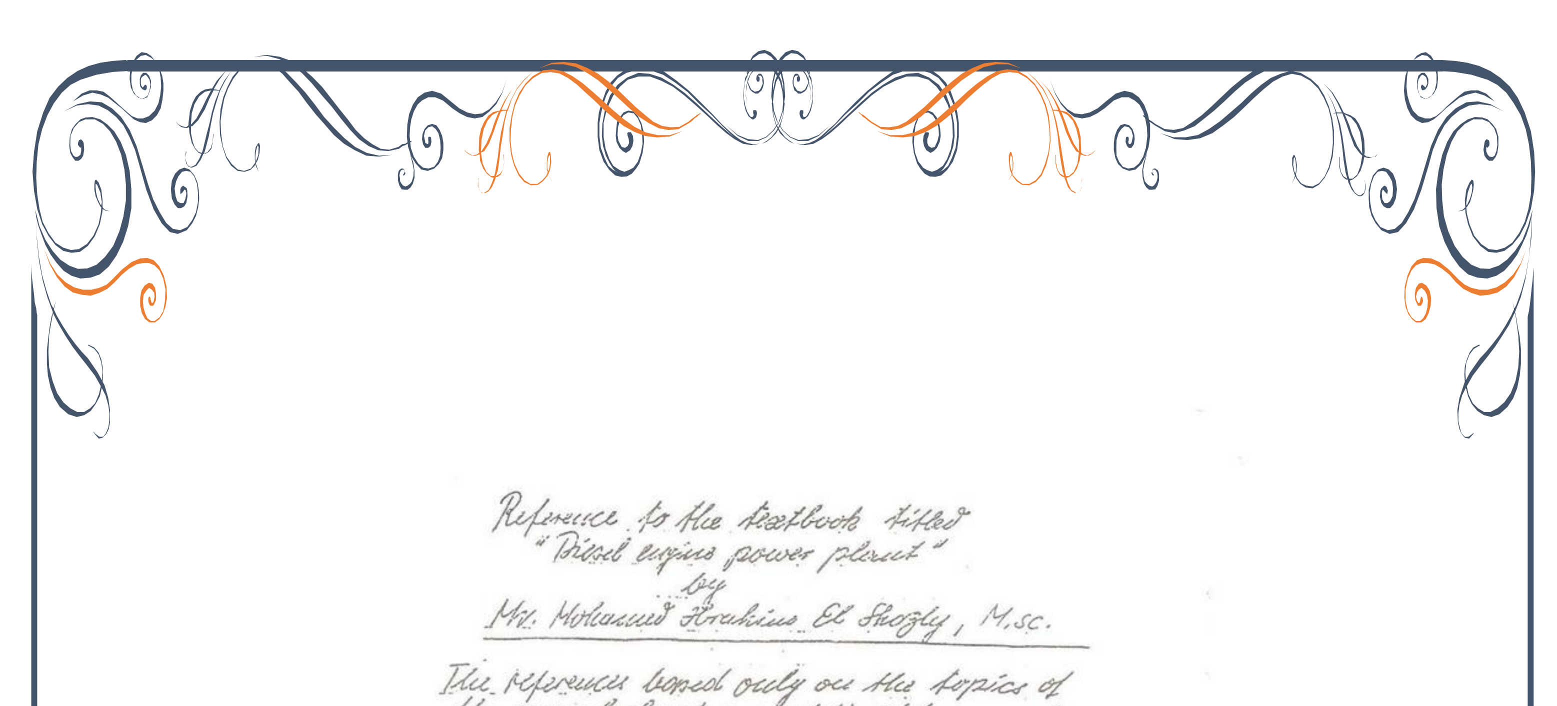
١٢/١٥
١٩٨٠

أ٠د٠ عبد الفتاح ابراهيـــم

جامعة الاسكندرية
كلية الهندسة







Reference to the textbook titled
"Diesel engine power plant"
by
Mr. Mohammed Ibrahim El Shazly, M.sc.

The reference based only on the topics of the several chapters and the pictures and figures of the textbook concerned, because it is written in Arab language.
The book contains all items necessary to be studied by marine engineering students. Because of the language barrier I can not say anything about the scientific contents. But pictures and figures shows, that the author has deeply entered in these field. It seemed to me, that his book is very usefull for educational purposes in Arab speaking countries. The book is comparabel with concerned textbooks now available in European countries.

It is notable, that the author has used the new S.I.-system units. The enumerated books utilized by the author seems to be partial generally noted.

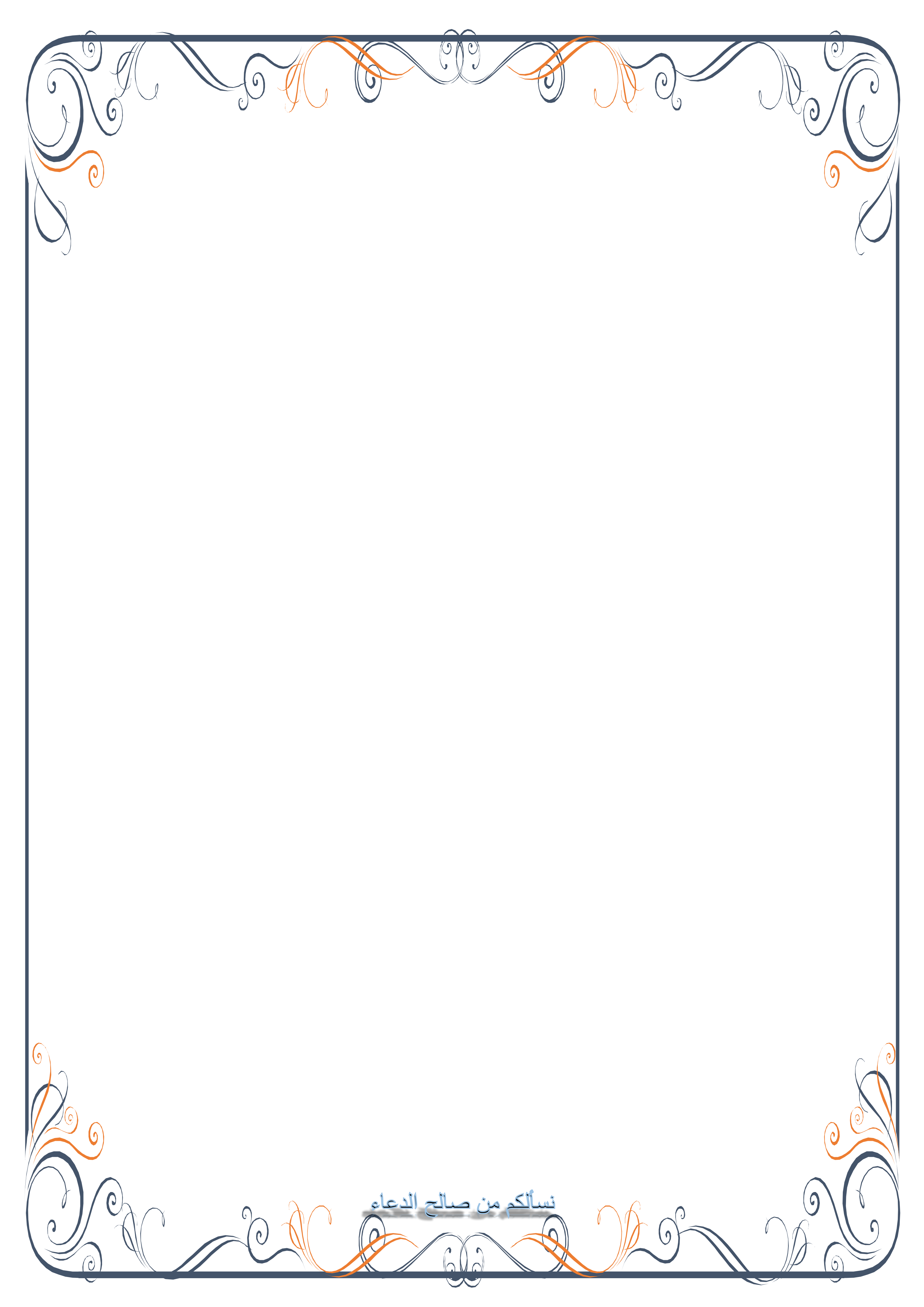
I want to give my best congratulation to Mr. Mohammed Ibrahim El Shazly for these very usefull textbook available for training of marine engineering students in the Arab world.

Otto Neumeister [signature]

Alexandria, 8.12.1980

Otto Neumeister
Prof. Dr. sc. techn.
Head of the Engineering Department
Nautical Engineering College Warnemünde / Wustrow



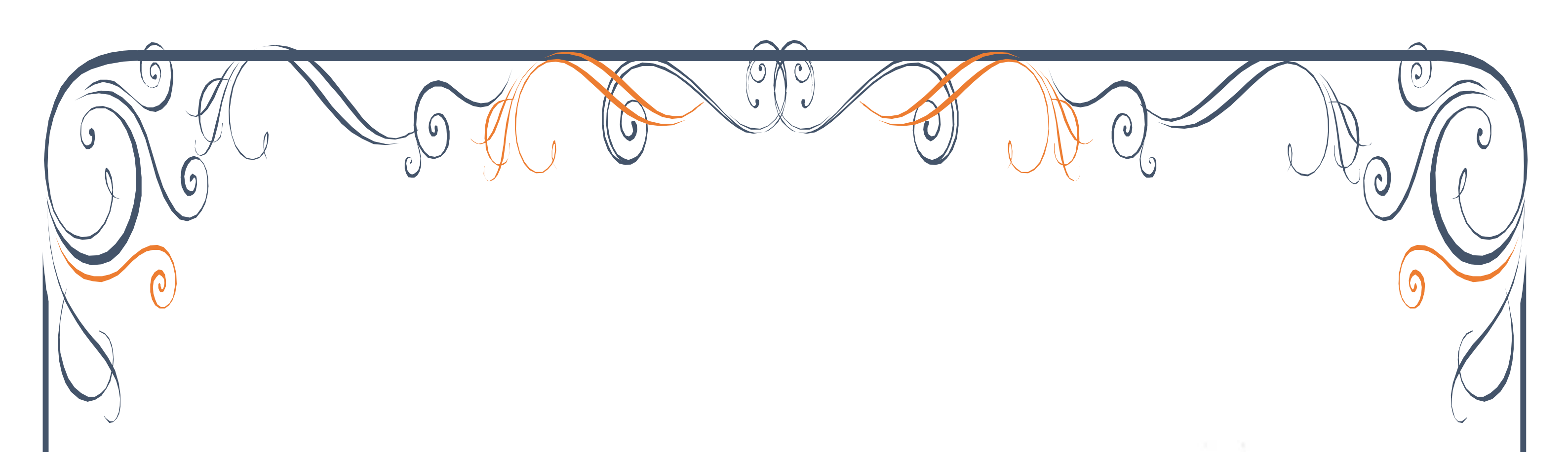

نسألكم من صالح الدعاء

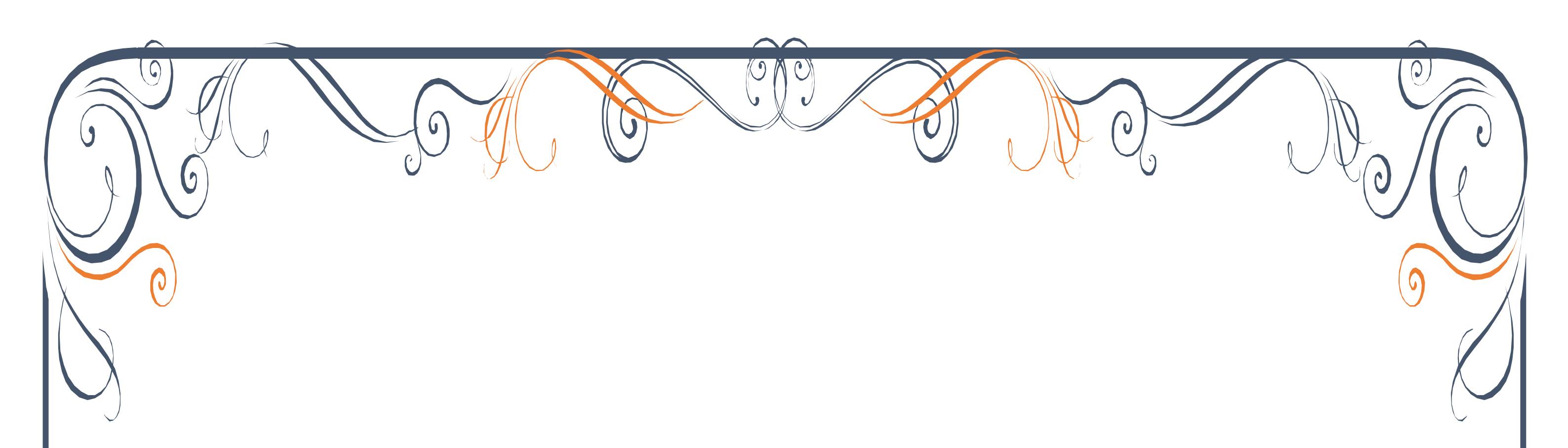


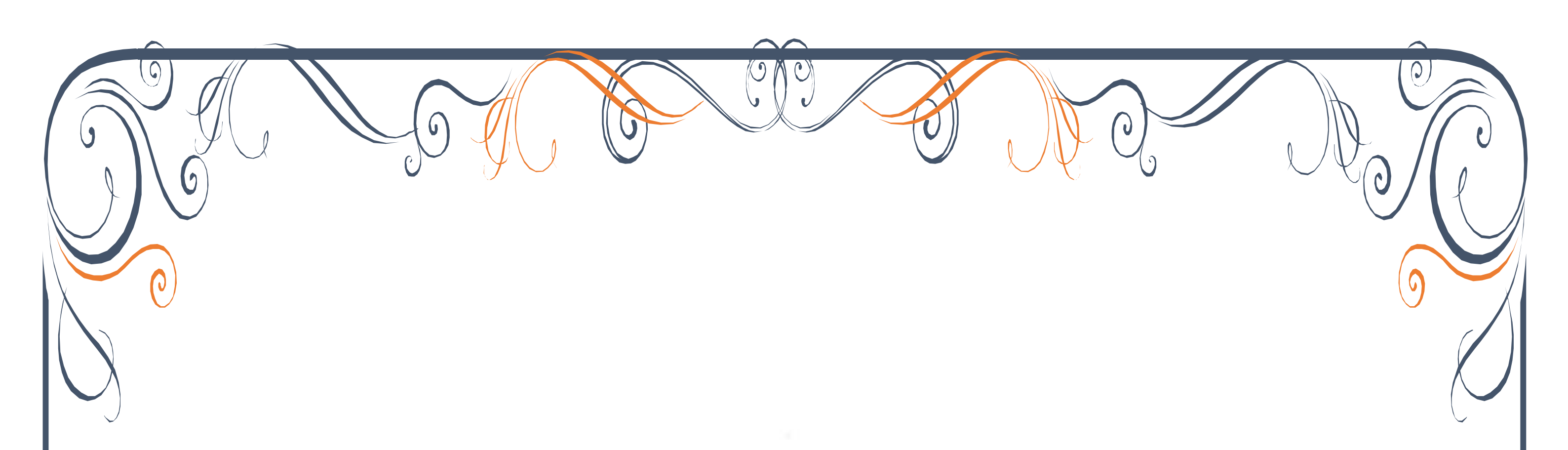
محتويات الكتاب

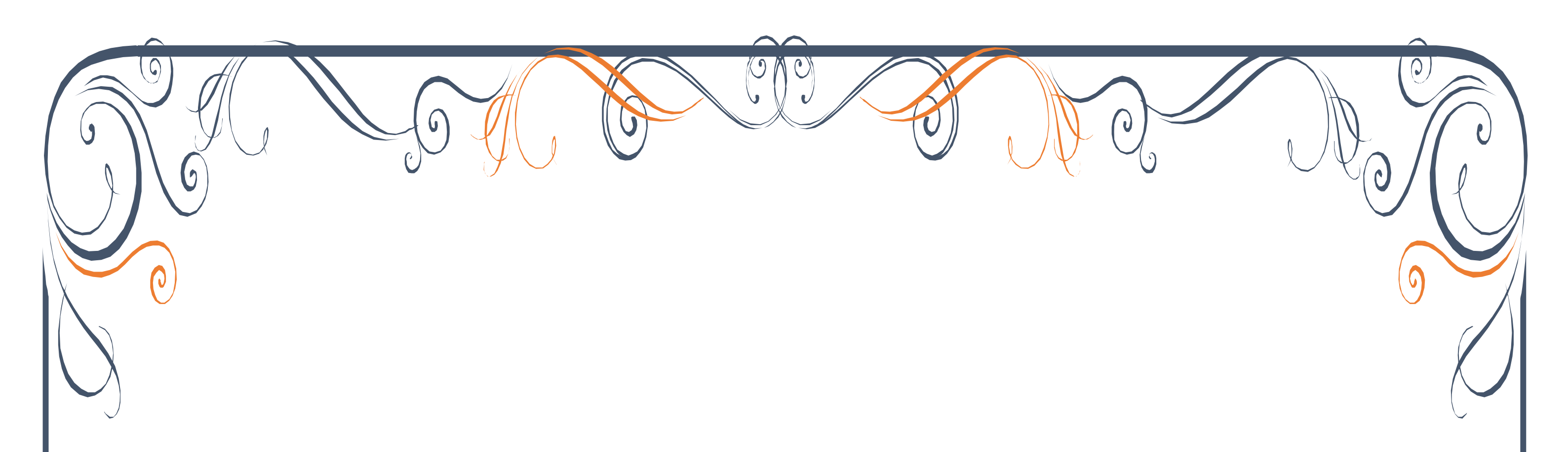
صفحة



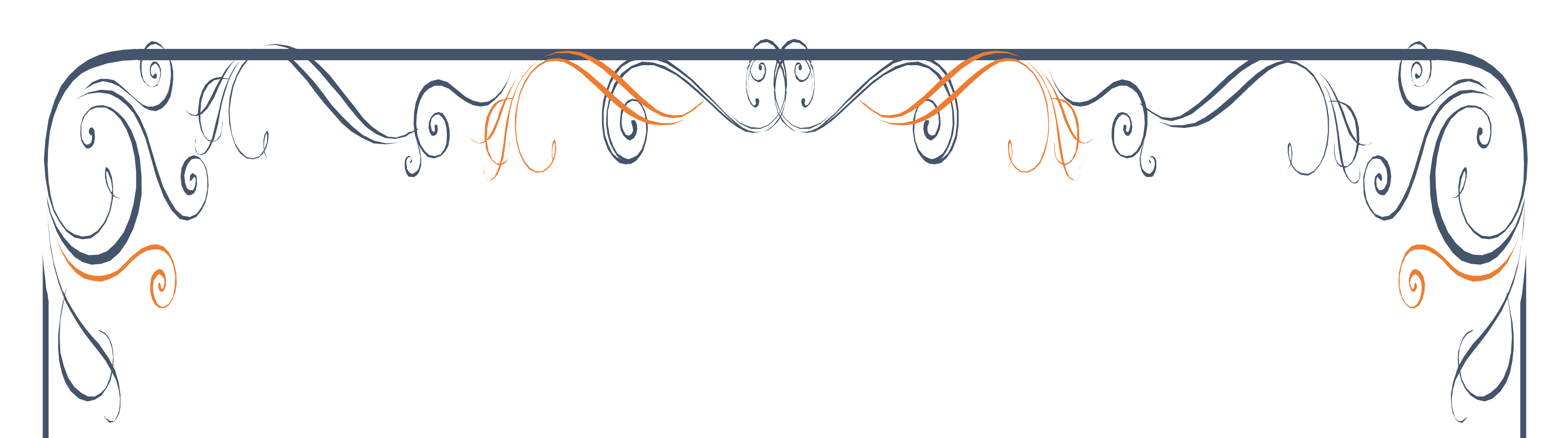








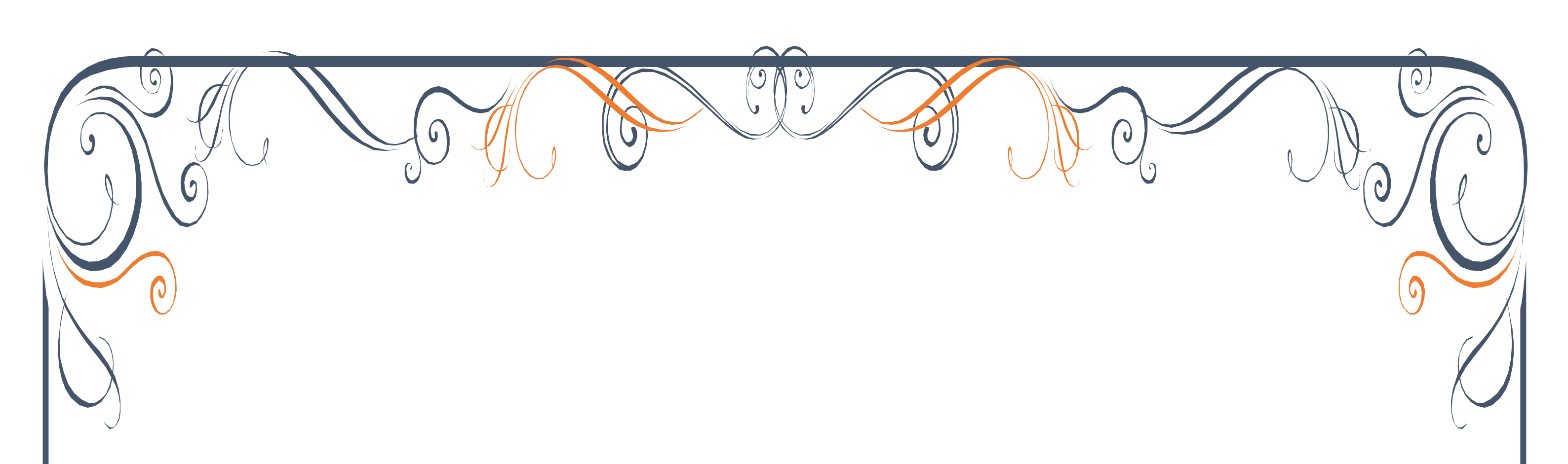
الباب الرابع : حقن الوقود



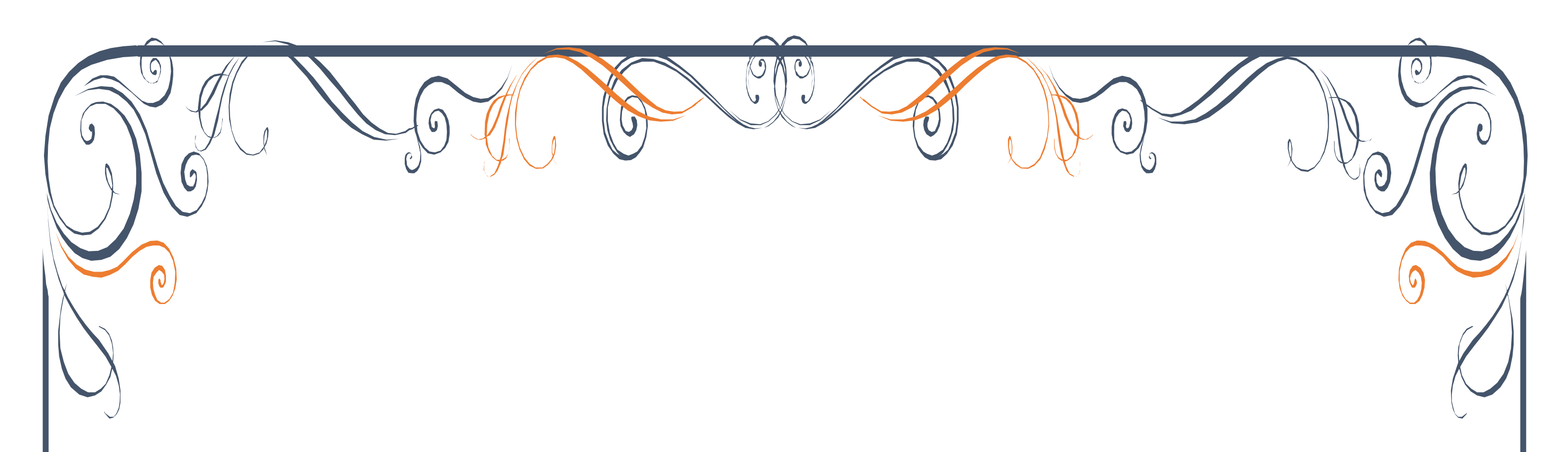
الباب الخامس : تزييت محركات الديزل

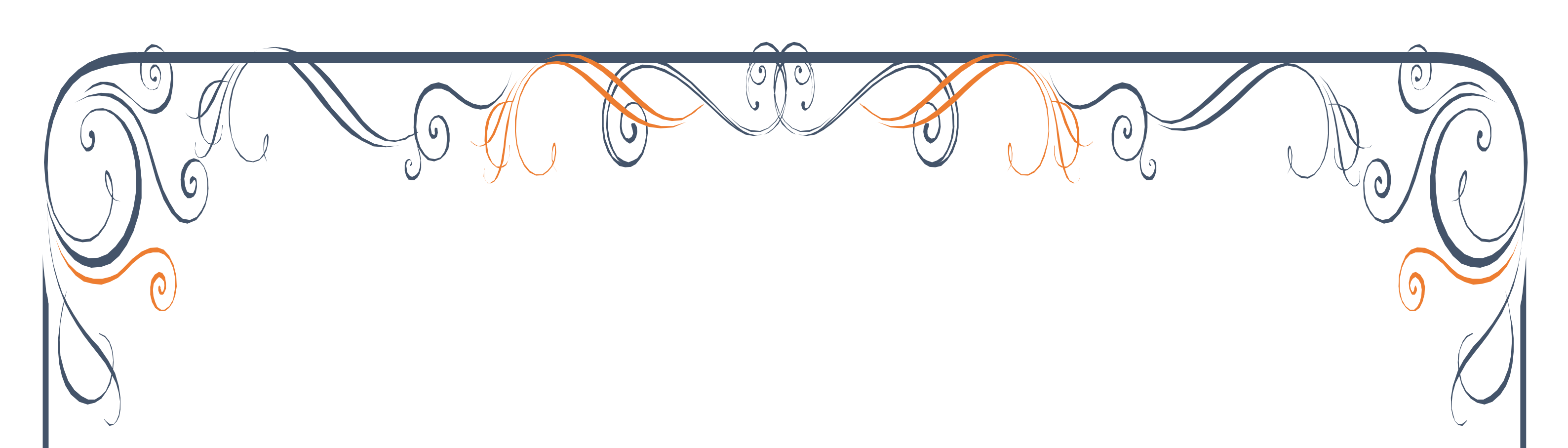
الباب السادس : تبريد محركات الديزل البحرية

الباب السابع : بدء وعكس الحركة للمحرك الديزل



الباب الثامن : الشحن الزائد



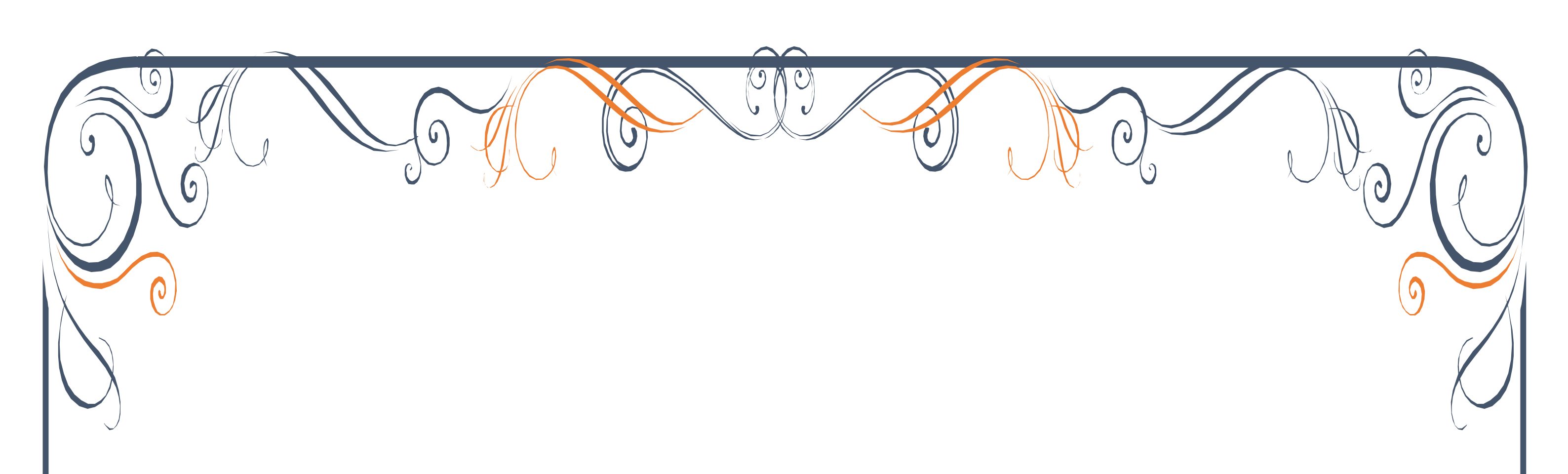


الباب الحادى عشر : ديناميكا محركات الاحتراق الداخلى

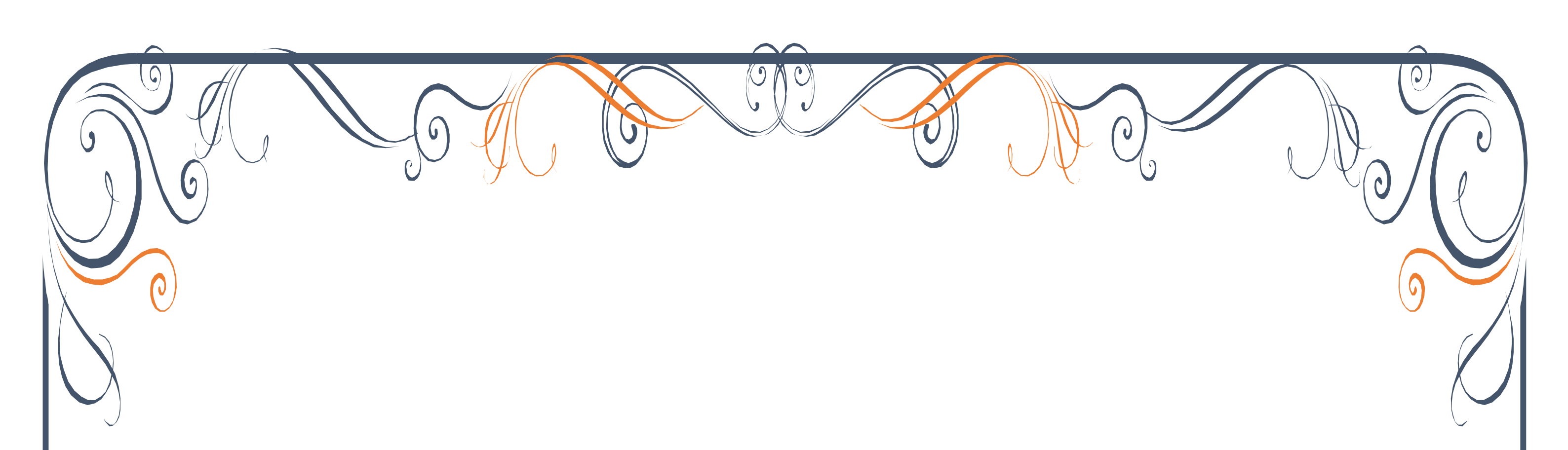


الباب الثانى عشر : ضواغط الهواء

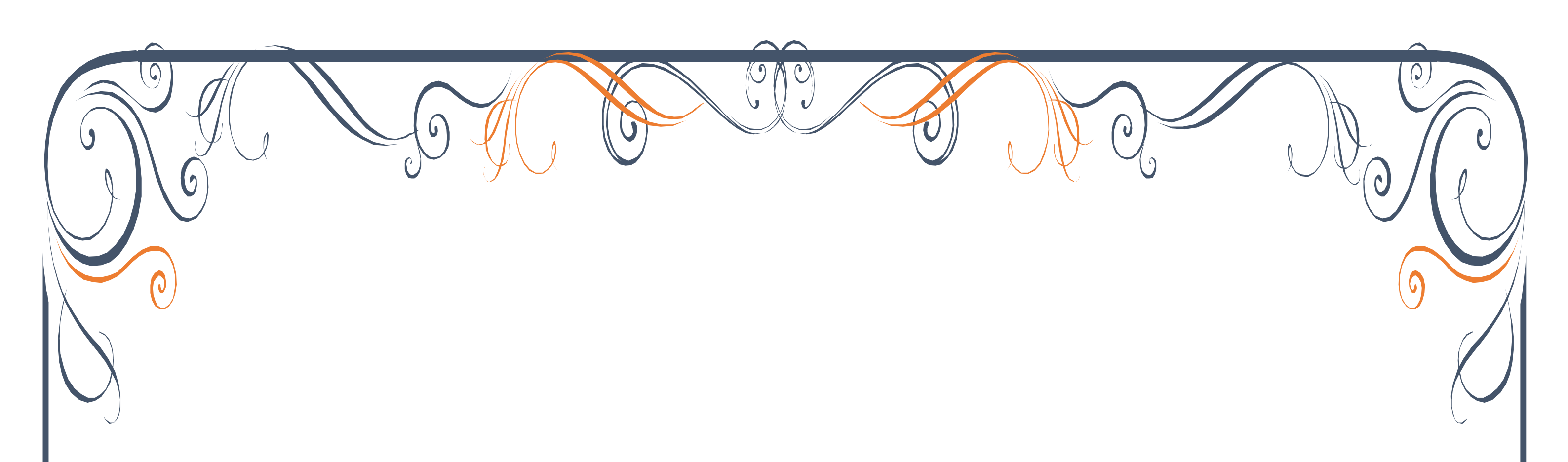
الباب الثالث عشر : سلامة التشغيل



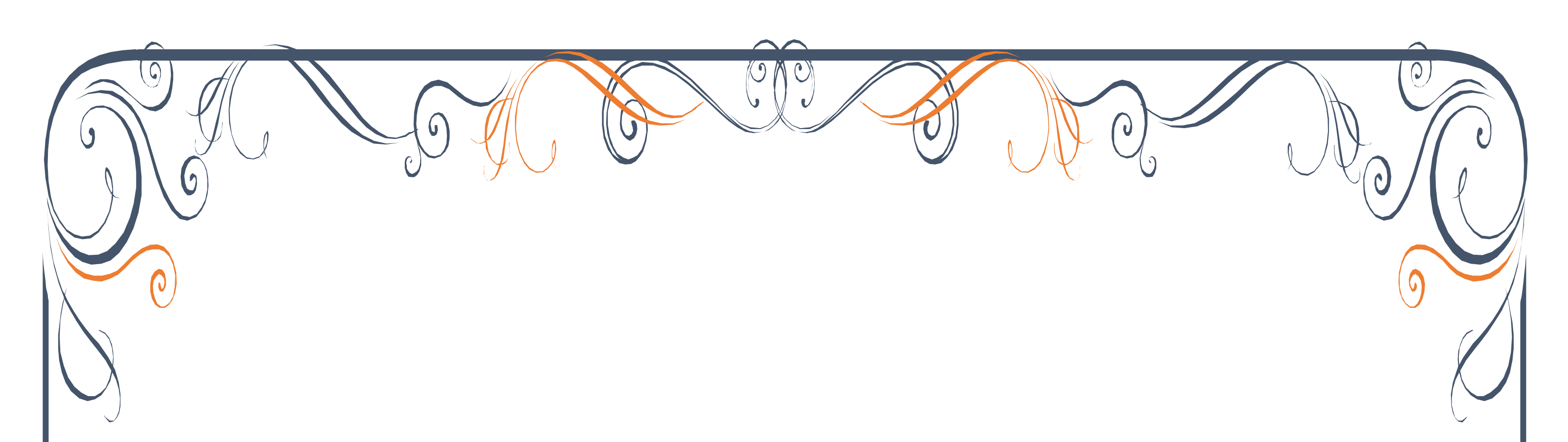
الباب الرابع عشر : محركات الديزل البحرية متوسطة السرعة

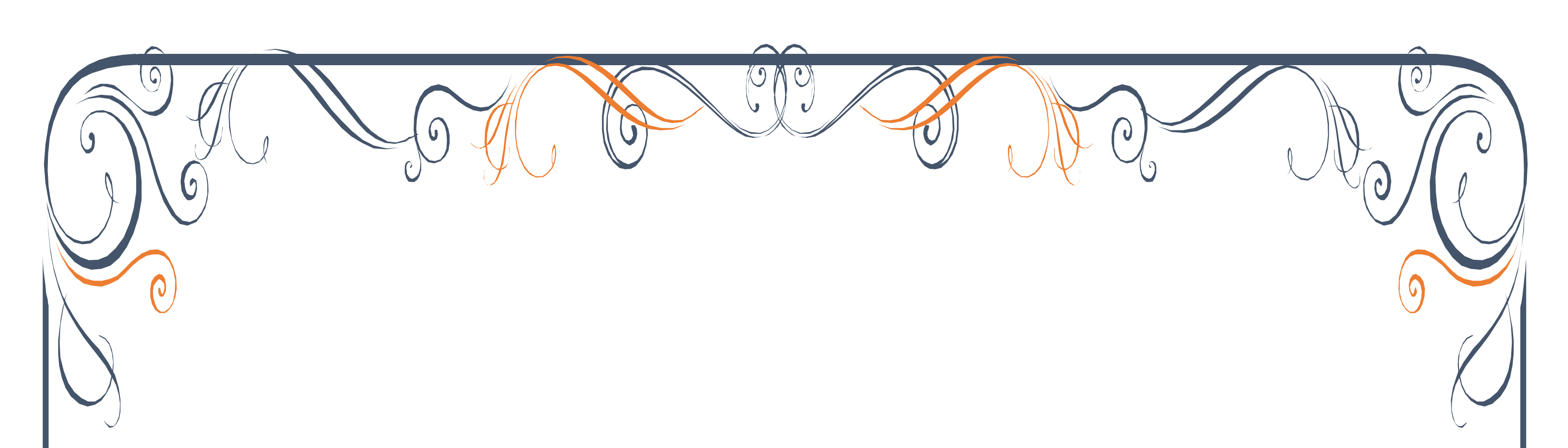


الباب الخامس عشر : التشغيل الآلى



الباب السادس عشر: بعض التنظيمات الإدارية





الباب الأول

عـــام

(١ - ١) النظام العالمى للوحدات S.I. System

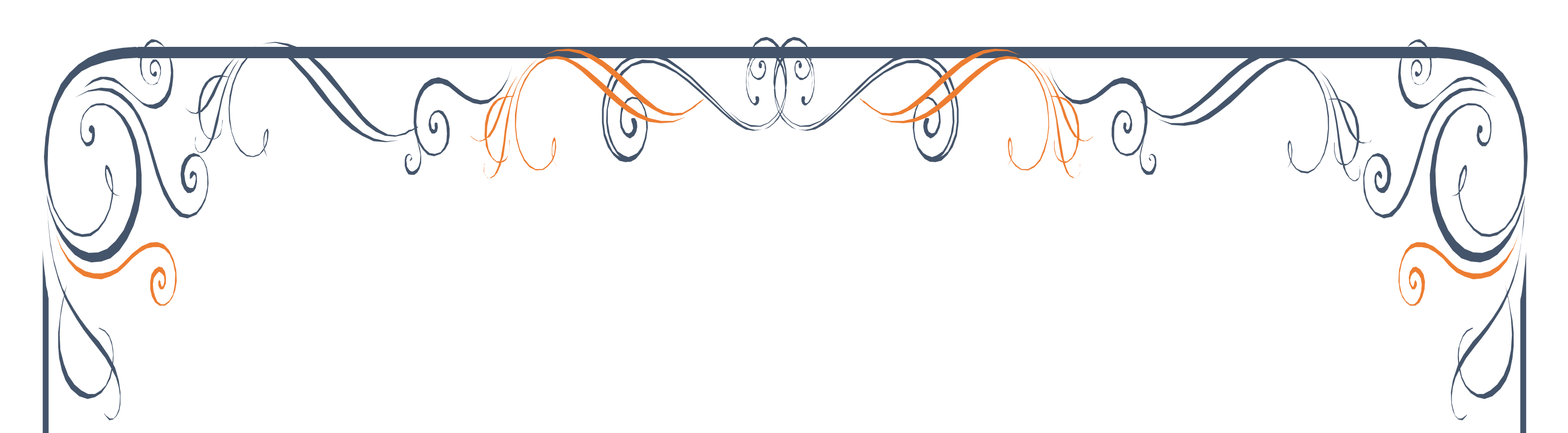
دائماً ما يتقابل المهندس البحرى بنظام S.I للوحدات لأول مرة ، ولــذلك فيجـب التعرف عليه ولو بكلمة مختصرة لتكون له مرشداً عند الحاجة .

(١ - ١ - ١) : مقدمة :

فى عام ١٨٧٠ بدأ التوحيد القياسى باجتماع خمسة عشر دولة فى باريس ، وأدى ذلك إلى تأسيس المكتب العالمى الدائم للأوزان والمقاييس عام ١٨٧٥ تحت إشراف المؤتمر العام (C.G.P.M (Conference General de Poids et Measures CGPM . ولقد أقر أولاً نظام السنتى . جرام . ثانية وقوبل بارتياح من رجال الكيمياء والطبيعة الـذين يحتاج عملهم للوحدات الصغيرة , ولكن بعد ذلك بدأت تبنى القواعد المترية علـى أسـاس نظام متر . كيلوجرام . ثانية M.K.S. system وأضيف لها أخيراً الأمبير وأصبح النظام يعرف بـ M.K.S.A system , وعند اجتماع المؤتمر العام للأوزان والمقـاييس عـام ١٩٥٤ ، استقر الرأى على تطبيق نظام M.K.S.A. وأضيفت إليه وحدة درجة الحـرارة المطلقة كلفن Kelvin والشمعة كوحدة قياس قوة الإضـاءة . وفـى عـام ١٩٦٠ تمـت الموافقة على تسمية هذا النظـام System Inrernational d'units وأخـذ الرمـز S.I كعلامة مميزة تستعمل فى كل اللغات .

وأساس نظام S.I هو تماسكه ، حيث يقال أن نظام الوحدات متماسك عندما يعطـى حاصل ضرب أو قسمة وحدتين أساسيتين وحدة كمية جديدة ، أى مثلاً حاصل ضرب وحدة الطول × وحدة الطول تعطى وحدة المساحة ، وكذلك حاصل ضرب وحدة الكتلة × وحـدة العجلة تعطى وحدة القوة Newton - أى هى القوة التى إذا أثرت على كتلة ١ كجم أكسبتها عجلة ١م / ث٢ . .





ويتضمن نظام S.I الستة وحدات الأساسية التالية :

الصفة	الوحدة	الرمز
الطول	متر	m
الكتلة	كيلوجرام	Kg
الزمن	ثانية	S
التيار الكهربى	أمبير	A
شدة الإضاءة	شمعة	Cd
درجة الحرارة المطلقة	كلفن	$K = \theta^{\circ}C + 273$

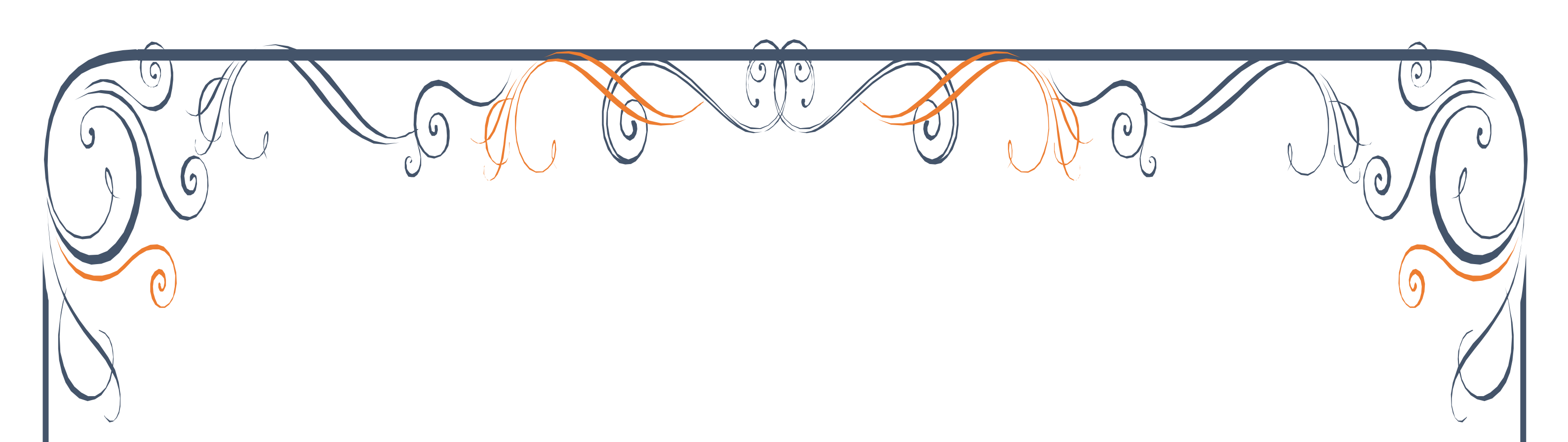
هذا بالإضافة إلى بعض الوحدات المشتقة المستعملة ومنها الآتى :

الصفة	الوحدة	الرمز	التكوين
القوة (الكتلة × العجلة)	نيوتن	N	$Kg.m/s^2$
الشغل (القوة × المسافة)	جول	J	N.m
القدرة (معدل أداء الشغل)	وات	W	J/S
الطاقة (القدرة × الزمن)	جول	J	$\frac{JxS}{S}$
الزاوية	نصف قطرية	rad.	

ويوجد أيضاً بعض المصطلحات المستعملة فى نظام SI للمتعددات والجزئيات وهى :

الكمية	التسمية	الرمز
10^{6}	ميجا	M
10^{3}	كيلو	K
10^{-1}	ديسى	d
10^{-2}	سنت	c
10^{-3}	ميللى	m
10^{-6}	مايكرو	μ





١ ـ ١ ـ ٢ : تعاريف :

الكـــــتلة : Mass :

هى كمية المادة التى يحتويها الجسم وتتناسب مع حجمه وكثافته ، ووحدتها كج .

الكتلة (كج) = الحجم (م ٣) × الكثافة (كج / م٣)

القـــوة : Force:

ووحدتها النيوتن Newton-وهى القوة التى إذا أثرت على كتلــة قــدرها ١ كجم تكسبها عجلة مقدارها ١ متر / ثانية٢ .

∴ نيوتن = (N) = كج × متر / ث٢ أو $N = Kgx\ m / s^2$

وقوة الجاذبية على جسم كتلته m Kg هــو mxg (Newtons) أو وزن الجســم الذى كتلته واحد كج هو 9.8 Newtons .

الشـــغل : Work :

ويتم الشغل عندما تؤثر قوة على جسم وتسبب تحريكه من مكانه ، ويقاس بحاصل ضرب القوة × المسافة التى تحركها الجسم .

أى أن : الشغل = قوة (نيوتن) × مسافة (متر)

ووحدة الشغل هى الجول Joule ويرمز له بالرمز (J)

ويعرف الجول بأنه كمية الشغل المبذول عندما تؤثر قوة قدرها ١ نيوتن على جسم فتحركه مسافة قدرها ١ متر فى اتجاه خط عمل القوة .

ولما كانت هذه الوحدة صغيرة ، فدائماً ما يستخدم فى التطبيق العملى الكيلو جــول وهو : ($1\ KJ = 10^3\ J$) والميجا جول وهو ($1\ MJ = 10^6\ J$)

القـــدرة : Power:

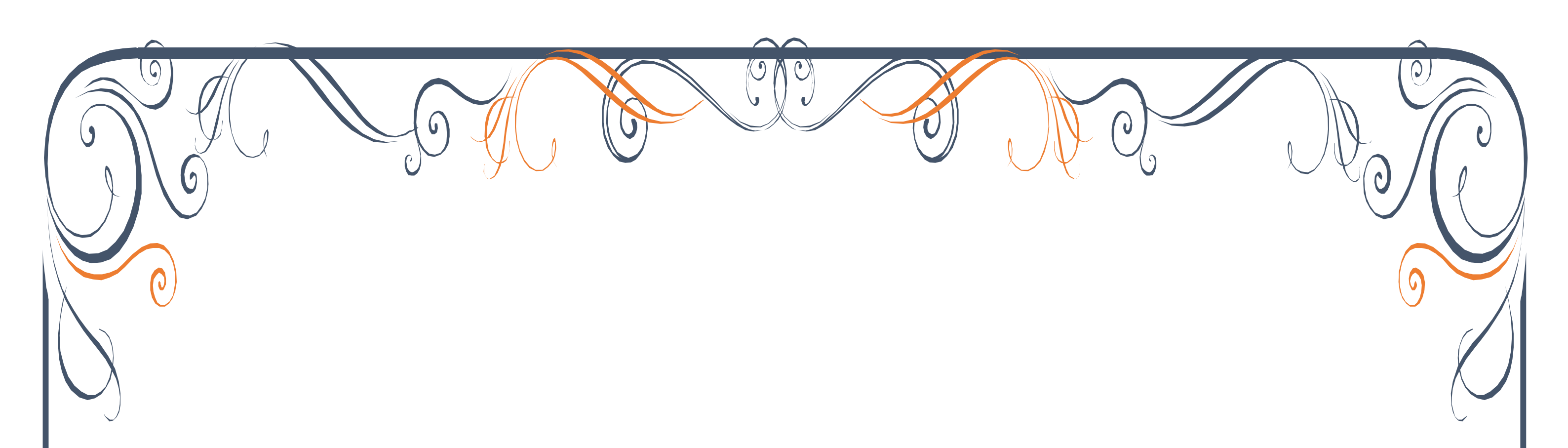
هى معدل الشغل المبذول أى أنه كمية الشغل المبذول فى زمن معين .

ووحداتها هى : وات Watt ويرمز له بـ (W)

١ وات = جول / ثانية = نيوتن × متر / ثانية

القدرة (W) = الشغل (J) / الزمن (S)

ولما كانت هذه الوحدات صغيرة ، فدائماً ما يستخدم فى التطبيق العملى الكيلــووات وهو ($1\ KW = 10^3\ W$) والميجا وات وهو ($1\ MW = 10^6\ W$)



الطاقــــة : :Energy :

هى سعة أو قابلية بذل الشغل وتقاس بكمية الشغل المبذول ، ووحدتها جول أو كيلو - جول ، أما الوحدة الأخرى الأكثر استعمالاً فهى كيلووات . ساعة وهى تمثل الطاقة المبذولة عندما تعطى قدرة مقدارها كيلووات باستمرار لمدة ساعة .

الطـــــاقة = القدرة × الزمن

كيلووات . ساعة = ١٠٠٠ وات × (٦٠ × ٦٠ ثانية) .

= ١٠٠٠ جول / ثانية × ٣٦٠٠ ثانية

= ٣,٦ ميجاجول .

الضغط : Pressure :

يعبر عن الضغط بمقدار القوة المؤثرة على وحدة المساحات ، ووحدة الضغط هــى نيوتن / متر٢ أو N/m^2 ويرمز للضغط عادة بالرمز (p) .

ولكن اتخذ نظام SI وحدة للضغط أكثر ملاءمة وهى بار BAR حيــث أن البــار يساوى تقريباً الضغط الجوى (الضغط الجوى = ١,٠١٣ بار) .

واحد بار = ١٠ ° نيوتن / متر ٢ = ١٠٠ كيلونيوتن / متر ٢

درجة الحرارة : Temperature :

هى مؤشر عن سخونة أو برودة الجسم ولذلك فهى مقياس لشدة حرارته . وتقاس درجة الحرارة إما بالدرجات المئوية ^{o}C أو الفهرنهيــت ^{o}F وتســتخدم الــدرجات المئوية المطلقة (Kelven) فى نظام SI ويرمز لها بالرمز K .

درجة الحرارة المطلقة T = درجة الحرارة المئوية θ^{o} + ٢٧٣

$$T\,^{o}(K) = \theta\,^{o}(C) + 273$$

١ ــ ١ ــ ٣ : بعض عوامل تحويل الوحدات

وحدات القدرة : Power units :

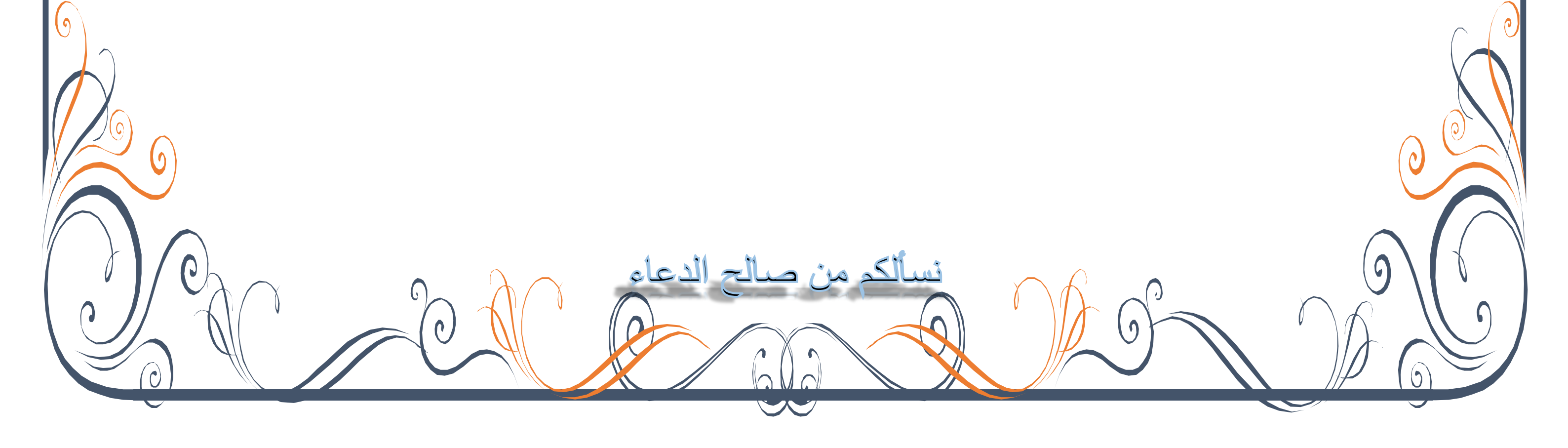
1 watt = 1 Joule per sec . (J/S) = 1 N.m /S

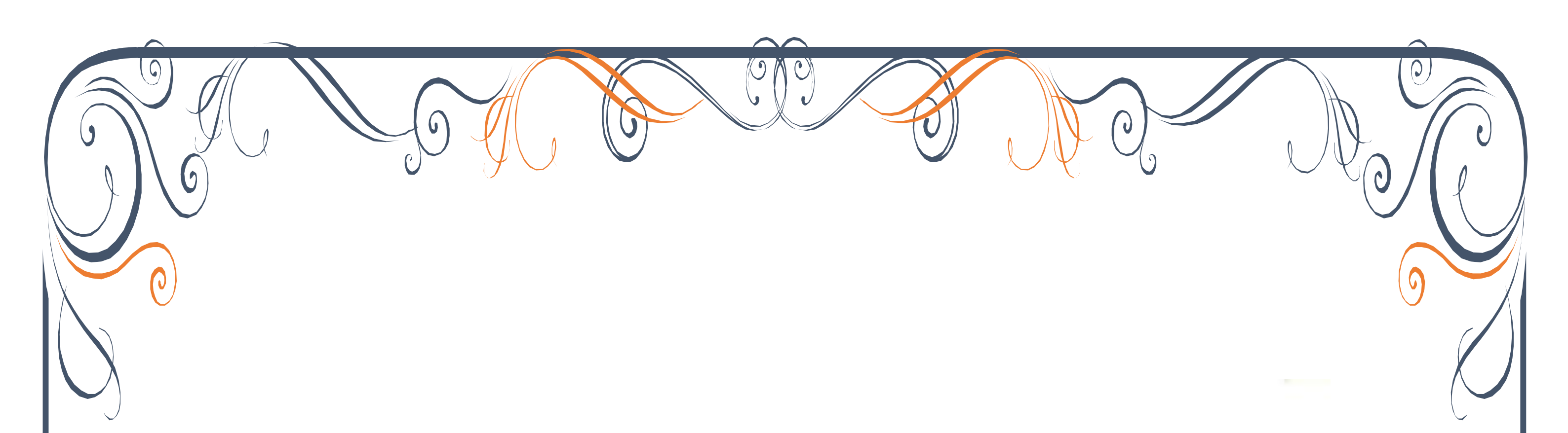
1 British horse power = 0.7457 K.W.

1 Metric horse power = 0.7355 K.W.

إستهلاك الوقود :

طن / يوم T / Day ، كجم / ساعة Kg / Hr





المعدل النوعى لاستهلاك الوقود : Specific fuel consumption

كيلوجرام / كيلووات . ساعة Kg / KW.h

القــــوة : Force

١ نيوتن = ٠,١٠١٩٧ كيلوجرام قوة

١ كيلوجرام قوة = ٩,٨١ نيوتن

القيمة الحرارية للوقود : Calorific value

هى الوحدات الحرارية التي يمكن الحصول عليها عند حرق وحـدة الكتلــة مــن الوقود K /Cal. / Kg or M.J / Kg

الضغط : Pressure

١ بار = ١٠° نيوتن / متر ٢ = ١,٠١٩٧ كج قوة / سم ٢

= ١٤,٥ رطل قوة / بوصة مربعة ≅ ضغط جوى

رطل/ بوصة مربعة = ٠,٠٦٨٩٥ بار

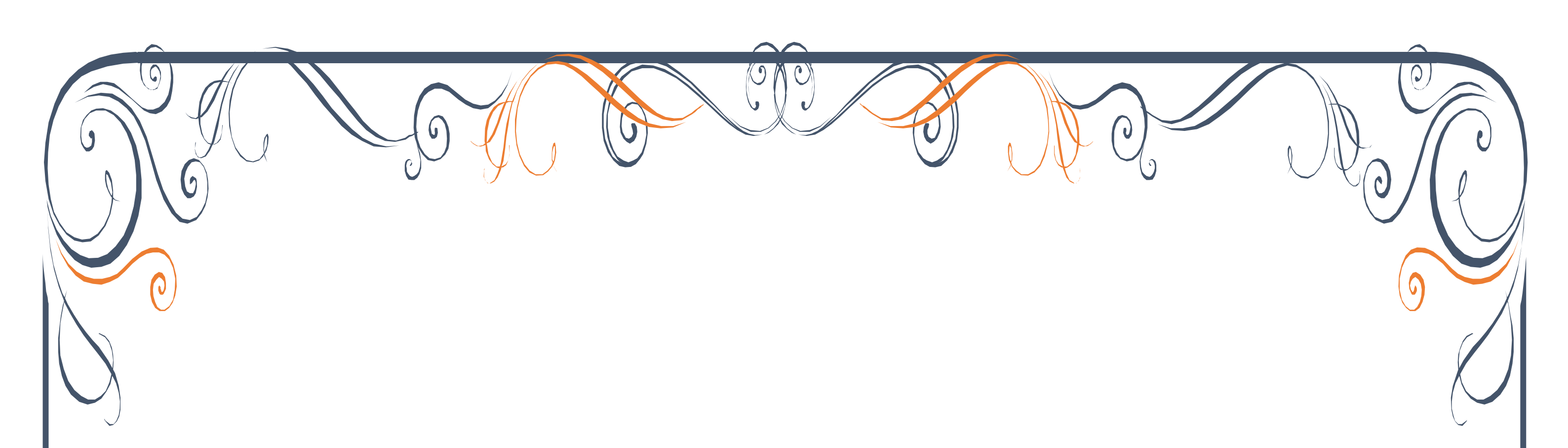
درجات الحرارة : Temperature

كل ٥° م = ٩° ف .

القراءة المئوية = (القراءة بالفهرنهيت – ٣٢) × $\frac{٥}{٩}$

مثـــــال :

١٨٥° ف = (١٨٥ – ٣٢) × $\frac{٥}{٩}$ = ٨٥° م



<u>بعض الأمثلة الرقمية :</u>

١ ــ إذا كان الضغط المتوسط الفعال يساوى ١٨١,٤ رطل / بوصة٢. فما قيمتها بنظام .S.I ؟

<u>الجواب :</u> القيمة = ١٨١,٤ × ٠,٠٦٨٩٥ = ١٢,٥ بار

٢ ــ إذا كان معدل استهلاك الوقود يساوى ٠,٣٤ رطل / حصان فرملى . ساعة . فكم يكون هذا المعدل بنظام S.I ؟

<u>الجواب :</u> القيمة = ٠,٣٤ × ٠,٦٠٨٣ = ٠,٢٠٧ كج / كيلووات . ساعة

٣ ــ إذا كانت مقاومة السفينة ٣٢٠٠ حصان فرملى . فكم تكون هذه القيمة بنظام S.I ؟

<u>الجواب :</u> القيمة = ٣٢٠٠ × ٠,٧٤٥٧ = ٢٣٨٢ كيلووات .

٤ ــ إذا كانت القيمة الحرارية للوقود هى ١٨٩٢٠ وحدة حرارية بريطانية / رطل , فكم تكون هذه القيمة بنظام S.I ؟

الجواب : القيمة = ١٨٩٢٠ × ٢,٣٢٦ = ٤٤٠٠٠ كيلوجول / كجم

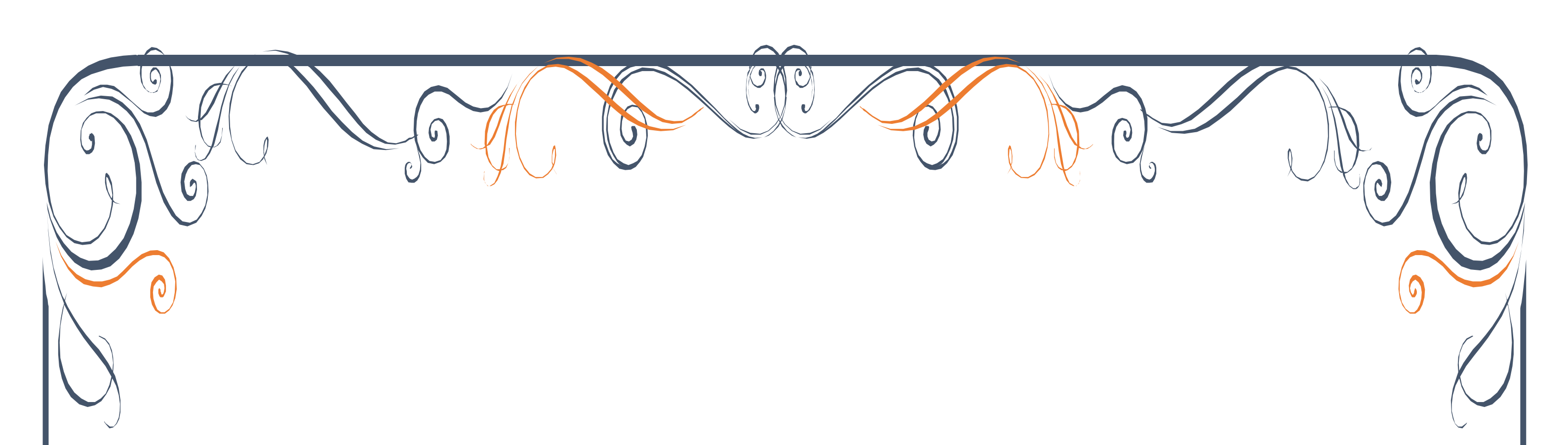
= ٤٤ ميجاجول / كجم .

ومما سبق يتضح أنه لا يوجد أية متاعب على المهندس البحرى نتيجة لاستبدال النظام المترى المعروف بنظام S . I ــ حيث أن التعديل طفيف وأساسه إدخال المصطلح نيوتن ـ Newton كوحدة عملية للقوة ، بل إن هذه الوحدة أتاحت فرصة توحيد الوحدات على النطاق العالمى , وبعد التعود عليها ستتميز بسهولة التطبيق العملى .

(١ – ٢) نبذة تاريخية عن آلآت الاحتراق

Historical review

ظهرت الآلات البخارية عام ١٧٦٣ وقد أمكن تحويل الطاقة الحرارية للفحم إلى طاقة ميكانيكية . ولكن استرعى الانتباه كبر الطاقة الحرارية المفقودة بالإضافة على الحيز الكبير الذى تشغله الآلات البخارية وملحقاتها ، لذا فكر البعض فى إمكانية حرق الفحم مباشرة داخل الإسطوانة فى المحرك الترددى ، وبذا لا يصبح هناك أى داع لتوليد البخار . ولكن لم



يتم ذلك بسهولة حيث ظهرت صعوبة حرق الفحم داخل الاسطوانة واحتياجه إلى وقت طويل للاشتعال ، وأدت هذه الصعوبات بفكرة آلة الاحتراق الداخلى إلى الانطواء .

بظهور الوقود الغازى عام ١٨٦٠ تمكن العالم الفرنسى Lenoir من بناء أول محـرك غازي يستخدم الغاز الطبيعى كوقود , واستخدمت فى ذلك الشرارة الكهربائية لاشعال الغاز. وفى عام ١٨٦٧ عرض العالمان الألمانيان Langen & Otto أول محرك رباعى الأشواط يستخدم الغاز كوقود فى معرض باريس العالمى ، وبعد ذلك تمكن سوياً من إدخال تحسينات كبيرة ظهرت أخيراً فى المحرك ' أوتو ' ذات الاحتراق الداخلى .

وفى عام ١٨٨٣ تم تصميم وبناء أول محرك يستخدم الوقود المتطاير (البنزين) وتـم تركيبه فى سيارة صغيرة .

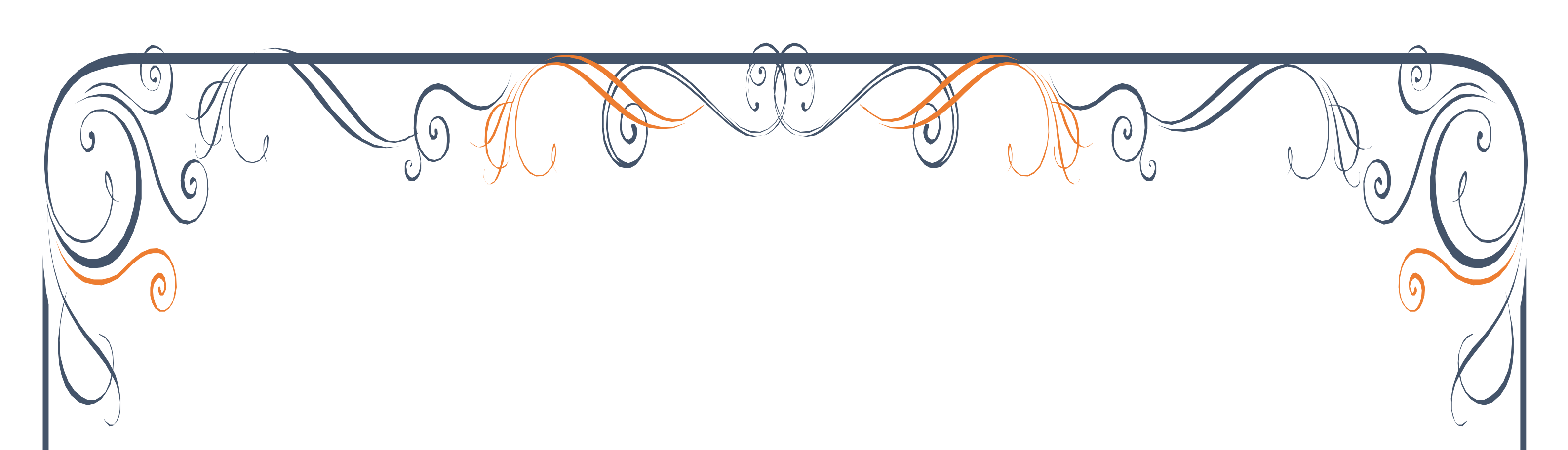
وفى عام ١٨٨٩ أعلن ديزل Diesel نظريته الجديدة لزيادة الجودة الحرارية للمحـرك وذلك بزيادة نسبة الانضغاط (r) Compression ratio -وهى النسبة بين الحجم الكلـى V_1 إلى حجم الخلوص V_2 ......($r = \frac{V_1}{V_2}$)

وفى عام ١٨٩٣ تم تصنيع أول محرك ديزل (فى شركة M.A.N بألمانيا) ربـاعى الأشواط ذو صمام لدخول الهواء وآخر لخروج العادم ، مع اسـتخدام الهـواء المضـغوط لتسهيل عملية تذرير الوقود (حقن هوائى) ، أما تغيير كمية الوقود المحقونة فتتم بواسطة تغيير مشوار مكبس طلمبة الحقن . وقد قام ديزل بعمل عدة أبحاث إلى ان ظهـرت عـدة محركات بقدرات تقل عن ٢٠ حصان وبسرعات اقل من ٥٠٠ لفة / دقيقة .

وفى عام ١٩٠٥ تم تصنيع أول محرك ثنائى الأشواط فى شركة (سولزر) واسـتخدم فى السفن ، وأجريت عليه الكثير من التحسينات لزيادة القدرة الحصانية واستخدمت فيـه طريقة الكسح الطولى .

وفى عام ١٩٢٥ بدأ حقن الوقود بطريقة الحقن المباشر Solid-injection (بمضـخة الوقود ذات الضغط العالى) ويرجع الفضل فى ذلك إلى جهود مسـتر" Robert Bosch " ، وكذلك أجريت الكثير من الأبحاث والدراسات على غرف الاحتراق لزيادة كفاءة الاحتـراق والكفاءة الحرارية للمحرك . ويمكن القول أن عام ١٩٣٠ نهاية للصـعوبات التـى كانـت تعترض بناء المحرك المناسب وإمكان تصنيعه بأقل التكاليف .

وكانت المحركات الثنائية فى المقدمة , ولكن بعد ذلك فضلت المحركات الرباعية لتقليل



الاجهادات على المحرك . ولكن نظراً لطلب القدرات العالية وظهور معادن ذات قوة تحمل أكبر أدت إلى العودة إلى المحركات الثنائية .

والآن نأتى إلى عام ١٩٣١ حيث له أهمية كبيرة فى صناعة المحركات الديزل ، حيث تمكن مستر Bosch من صنع أول محرك رباعى الأشواط ويعمل بطريقة الشحن الزائد Super-charging بواسطة توربين غازي يدير ضاغط هوائي يغذى المحرك بالهواء اللازم للاحتراق مما أدى إلى رفع قدرة المحرك إلى ١٥٠ % .

وبعد ذلك بدأت الشركات تنتج المحركات المشحونة ثنائية الأشواط ذات طريقة الكسح الطولي مما شجع Junker وبعده Doxford على تصنيع المحركات ذات المكابس المتضادة .

وقد احتاجت السفن لمحركات الديزل البحرية التى تتميز بقوة تحمل عالية وتعمل لمدد طويلة دون أعطال،والتى تكون صيانتها على فترات متباعدة وتحرق الوقود ذو الجودة المنخفضة وبكفاءة حرارية عالية .

ولذا قامت الشركات الصانعة بعمل التطويرات والتحسينات المستمرة لتلبية هذه الاحتياجات ، وقد توصلت إلى القدرات العالية وعليه فقد حلت محل التربينات البخارية . وتركز التطوير على اقتصاديات الوقود ورفع الكفاءة الحرارية حتى وصلت إلى ٥٤% ونقص المعدل النوعى لاستهلاك الوقود إلى ١٥٥جم / ك وات . ساعة .

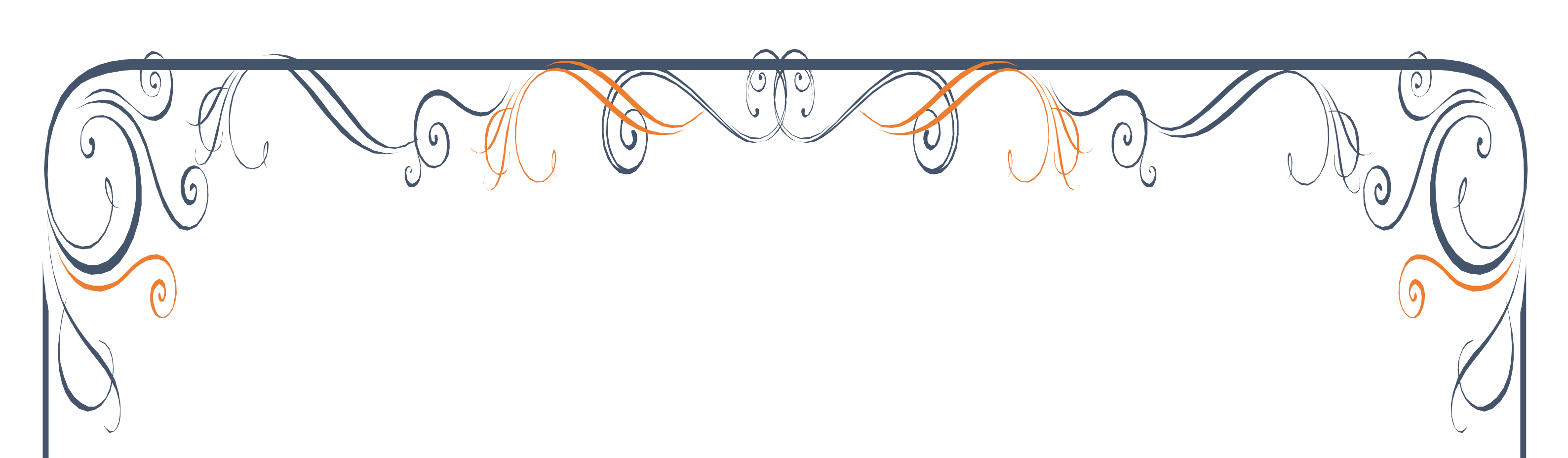
ويمكن تقسيم محركات الديزل البحرية أساساً إلى نوعين :

أ ـ المحركات البطيئة وعادة يكون عدد وحداتها قليل ، وقد انحصر إنتاجها فى ثلاثة منتجين وهم MAN – B&W , Sulzer , Mitsubishi .

ب ـ المحركات متوسطة السرعة والسريعة والتى تعمل بتروس تخفيض ويقوم بالانتاج العديد من الشركات مثل : Wartsilla , Pielstick .. الخ علاوة على M.A.N – B&W , Sulzer .

وليكن معلوماً أن حجم الاسطوانة أصبح غير مميز بين نوع ، وآخر حيث أنه فى الوقت الحاضر قل قطر الاسطوانة فى المحركات البطيئة إلى ٢٦٠ مم ، بينما زاد فى المحركات متوسطة السرعة إلى ٦٢٠ مم .

وحيث أنه يوجد اختلاف كبير بين هذين النوعين ، فلذا سنحاول أن نفى بتغطية كلاهما .



(١ ـ ٣) المحركات الحرارية Heat engines

١ ــ ٣ ــ ١ : تعريف :

تقوم المحركات الحرارية بتحويل الطاقة الحرارية الناتجة عن احتراق الوقود إلى شغل ميكانيكى .

أنواعها : تنقسم هذه المحركات إلى نوعين رئيسيين وهما :

أولاً : محركات الاحتراق الخارجى :

وفيها يتم احتراق الوقود كلية خارج اسطوانة المحرك ، فالحرارة الناتجة عن احتراق الوقود تنتقل بالتوصيل إلى مادة التشغيل (الماء) ويطلق هذا على المحركات والتربينات البخارية .

ثانياً : محركات الاحتراق الداخلى :

وفيها يتم احتراق الوقود داخل اسطوانة المحرك أو فى وعاء متصل بها ، فنواتج الاحتراق تؤثر مباشرة على المكبس أو التربينة ، ويطلق هذا على محركات الديزل ومحركات الغاز والبنزين والتربينات الغازية .

أنواع محركات الاحتراق الداخلى :

أ- محرك البنزين .

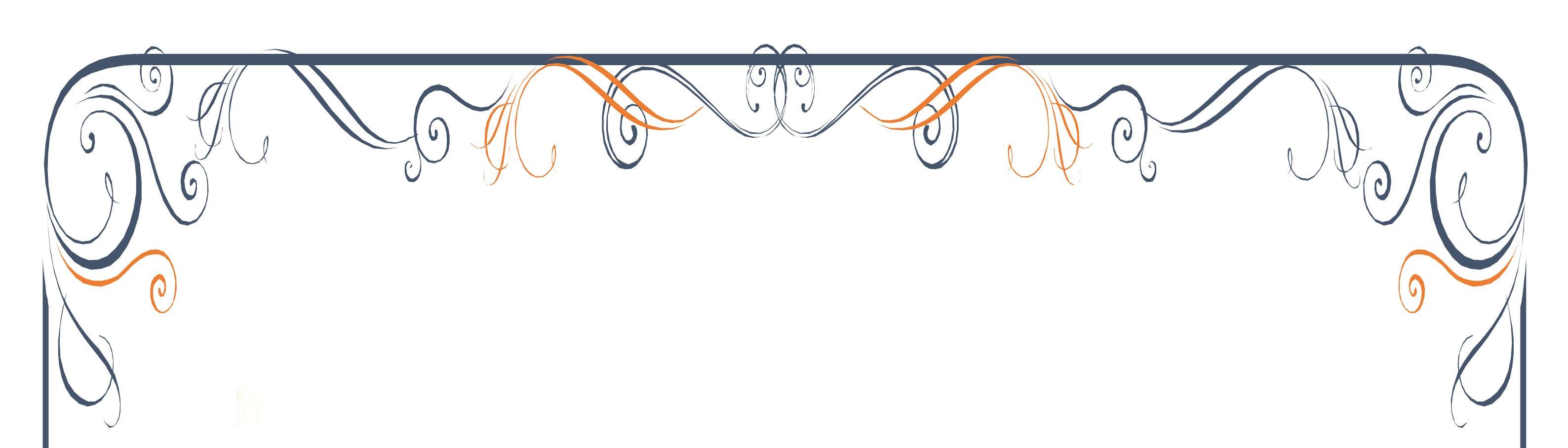
ب- محرك نصف الديزل .

ج- محرك الديزل .

د- التوربين الغازى .

أ ــ محرك البنزين Petrol engine

يختلط الوقود السائل بالهواء فى المغذى Carburretor ويدخل هذا الخليط الإسطوانة ويتم الإشتعال بواسطة شمعة إشعال وفى هذه المحركات تكون نسبة الانضغاط محدودة (حوالى ٨ : ١) ويكون ضغط الانضغاط فقط كافياً لتسخين الوقود حتى يسهل اشتعاله بالشرارة ، ويتحول جزء من الطاقة المتولدة إلى طاقة حركة بينما يفقد الجزء الباقى على هيئة طاقة حرارية (التبريد والعادم) .



ب ـ محرك نصف الديزل Semi-diesel

فى هذا النوع من المحركات تكون نسبة الانضغاط حوالى (١٠ : ١) فعند حقن الوقود لا يشتعل تلقائياً بل يتم إشعاله باستخدام الرأس المتوهجة Hot-bulb وهى عبارة عن غرفة لتبخير الوقود السائل ليسهل إشعاله فى الاسطوانة وهى غير مبردة . وقبل إدارة المحرك مباشرة يلزم التسخين بواسطة مسخن خارجى ويتم الإشتعال بالتأثير المشترك .

جـ ـ محرك الديزل Diesel engine

وفى هذا النوع من المحركات يتم حقن الوقود (ديزل ـ وقود ثقيل) بواسطة الحاقن فى الاسطوانة قبل وصول المكبس إلى النقطة الميتة العليا ، ويكون الضغط ودرجة حرارة الهواء كافيين لإشعال الوقود ذاتياً حيث تصل نسبة الانضغاط إلى حوالى (١٤ : ١) ويتحول جزء من الطاقة الحرارية الناتجة إلى طاقة حركة بينما يفقد الجزء الباقى على هيئة طاقة حرارية (التبريد والعادم) .

وتمتاز محركات الديزل بارتفاع جودتها الحرارية واقتصادها فى الوقود مع إمكانية استخدامها لأنواع مختلفة من الوقود السائل .

د ـ التوربين الغازى Gas turbine

يطلق اسم التوربين الغازى على التوربينات التى تستخدم نواتج الاحتراق الساخنة لتشغيلها بدلاً من البخار . وتتكون وحدة التوربين من ضاغط الهواء وغرفة الاحتراق والتربينة . ويتم حرق الوقود فى غرفة الاحتراق ، وتتمدد الغازات فى التربينة حيث يكتسب العمود الحركة الدورانية . وتتميز بالحصول على الحركة الدورانية مباشرة دون الحاجة إلى مجموعة نقل الحركة (الكباس ـ نراع التوصيل ـ عمود المرفق) .

١ ـ ٣ ـ ٢ : تصنيف آلات الاحتراق الداخلى Classification of I.C.E

يمكن تصنيف آلات الاحتراق الداخلى من الوجهات التالية :

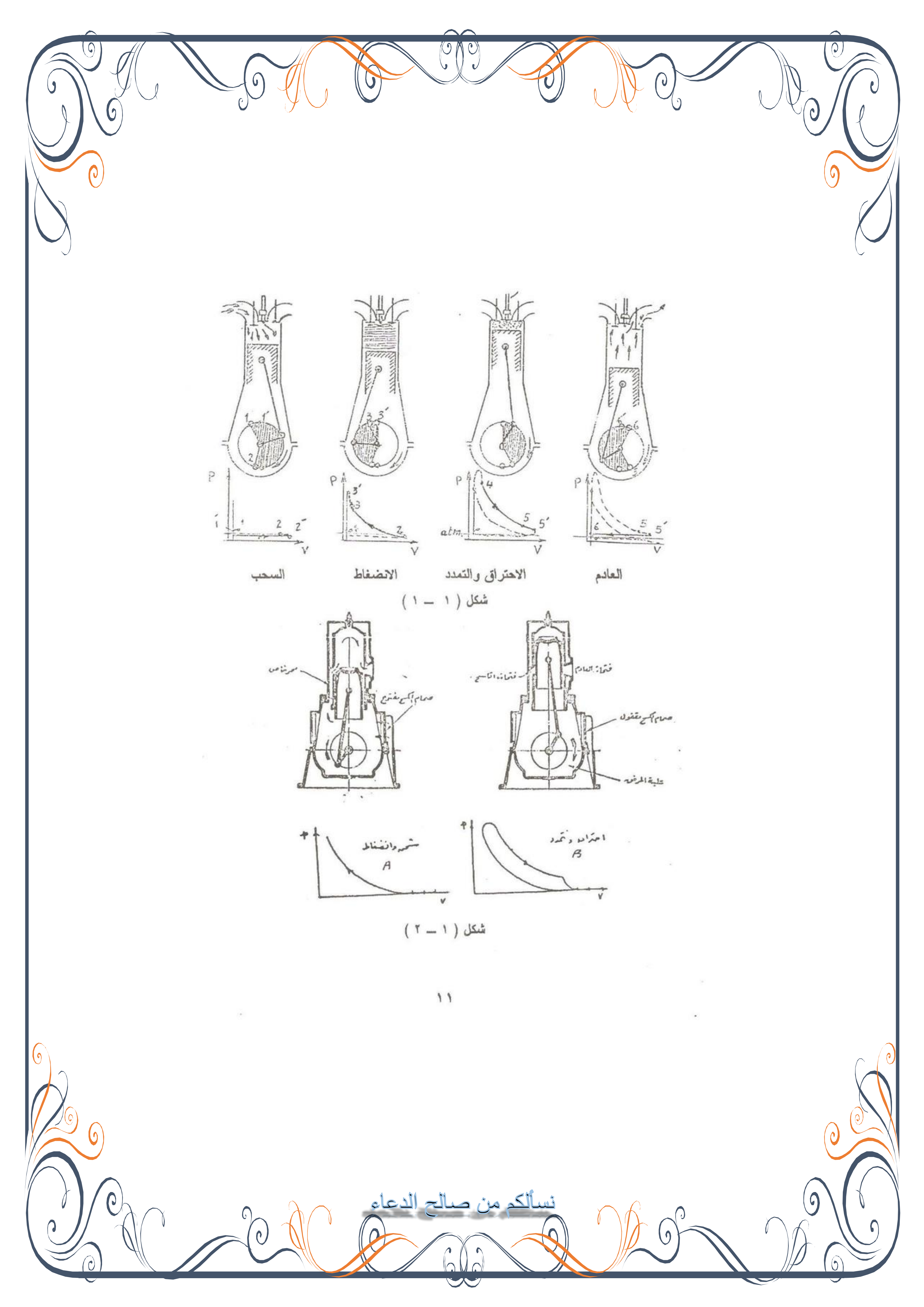
١ ـ دورة التشغيل Working cycle

أ) محركات رباعية الأشواط 4 – Stroke cycle

وهى التى تتم فيها دورة التشغيل فى أربعة مشاوير للمكبس ، أى أنه يوجد شوط فعال واحد فى كل لفتين لعمود المرفق (شكل (١ ـ ١) .

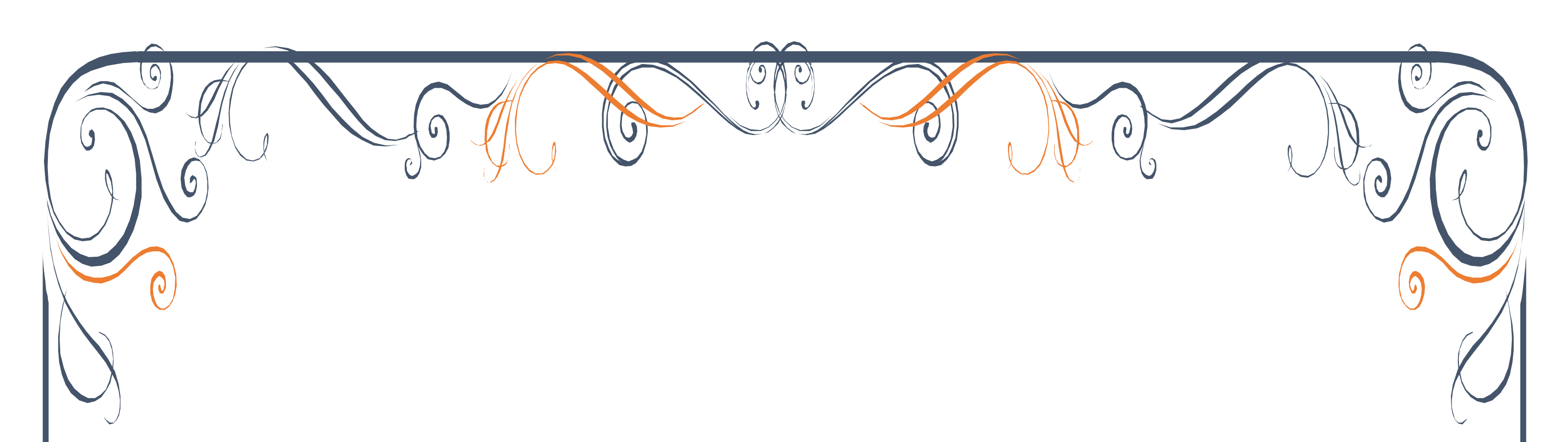
ب ـ محركات ثنائية الأشواط 2 – Stroke cycle

وهى التى تتم فيها دورة التشغيل فى مشوارين للمكبس ، أى أنه يوجد شوط فعال واحد كل لفة لعمود المرفق . (شكل (١ ـ ٢)



شكل (١ ـ ١)

شكل (١ ـ ٢)



٢ ـ طريقة التأثير Method of action

أ) أحادية التأثير Single-acting

حيث أن التأثير على المكبس من جهة واحدة فقط .

ب) ثنائية التأثير Double acting

حيث أن التأثير على وجهى المكبس .

٣ ـ نظام التصميم : Constructive design

أ) الاسطوانات على صف واحد In-line أو على شكل حـرف V (V- type) أو محرك نصف قطرى Redial eng. .

ب) الاسطوانات رأسية أو أفقية .

جـ) محركات ذات المكابس الجذعية Trunk piston أو ذات الرأس المنزلـق Cross-head engine .

د) محركات ذات المكابس المتضادة Opposed piston engines وفيها يتحـرك المكبسان فى قميص واحد وفى عكس الاتجاه .

٤ ـ طريقة خلط الوقود مع الهواء Charging the cylinders

أ) خلط خارج الاسطوانة بين الوقود المتطاير والهواء كما فى محركات البنزين .

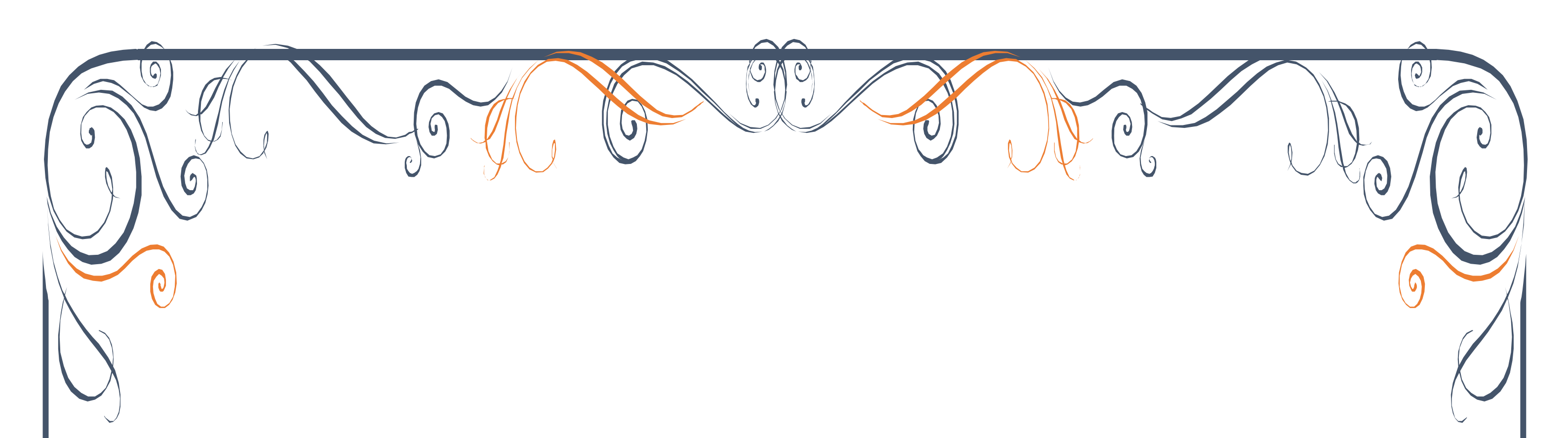
ب) خلط داخل الاسـطوانة نتيجة تذرير الوقـود باسـتخدام مضـخة حقـن ذات ضغط عالى .

٥ ـ طريقة اشتعال الخليط : Method of ignition

أ) اشتعال ذاتى Self–ignition حيث يتم اشتعال الوقود فور حقنه فى الاسطوانة نظراً لارتفاع الضغط ودرجة الحرارة .

ب) الاشتعال بالشرارة Spark-ignition حيث تساعد الشرارة على إتمام اشـتعال المخلوط ويكون الضغط ودرجة الحرارة غير كافيين لذلك .

جـ) الاشتعال بتأثير الرأس المتوهجة Hot- bulb وفيها يشتعل المخلوط بتـأثير درجة الحرارة المرتفعة للرأس المتوهجة .



٦ ـ السرعة Speed

أ) المحركات ذات السرعة البطيئة Low speed engines

حيث يدور عمود المرفق بسرعة تقل عن ٣٠٠ لفة / دقيقة وتكـون الســرعة المتوسطة للمكبس (c_m) Mean piston speed حوالى من ٤ : ٦ متر / ثانية وفى هذه الأنواع من المحركات تكون العلاقة بين المشوار (ل) والقطر (ق)

$\frac{ل}{ق}$ = ١,٤ : ٢,٢ وقد زادت هذه النسبة إلى ٤ فى المحركات الحديثة .

ب) المحركات متوسطة السرعة Medium-speed engines

حيث يدور عمود المرفق بسرعة من ٣٠٠ ــ ٧٠٠ لفـة / دقيقـة ، وتكـون الســـــرعة المتوســطة للمكبس c_m حوالى من ٦ : ٩ متر / ثانيـــة و

$\frac{ل}{ق}$ = ١,٢ : ١,٤ .

جـ) المحركات ذات السرعة العالية : High-speed engines

حيث يدور عمود المرفق بسرعة أعلى من ٧٠٠ لفة / دقيقة ،. وتكون السرعة المتوسطة للمكبس c_m حوالى من ٩ : ١٢ متر / ثانية و $\frac{ل}{ق}$ = ٠,٩ : ١,٣

ملحوظــــة :

السرعة المتوسطة للمكبس c_m وهى تساوى $\frac{2L.n}{60}$

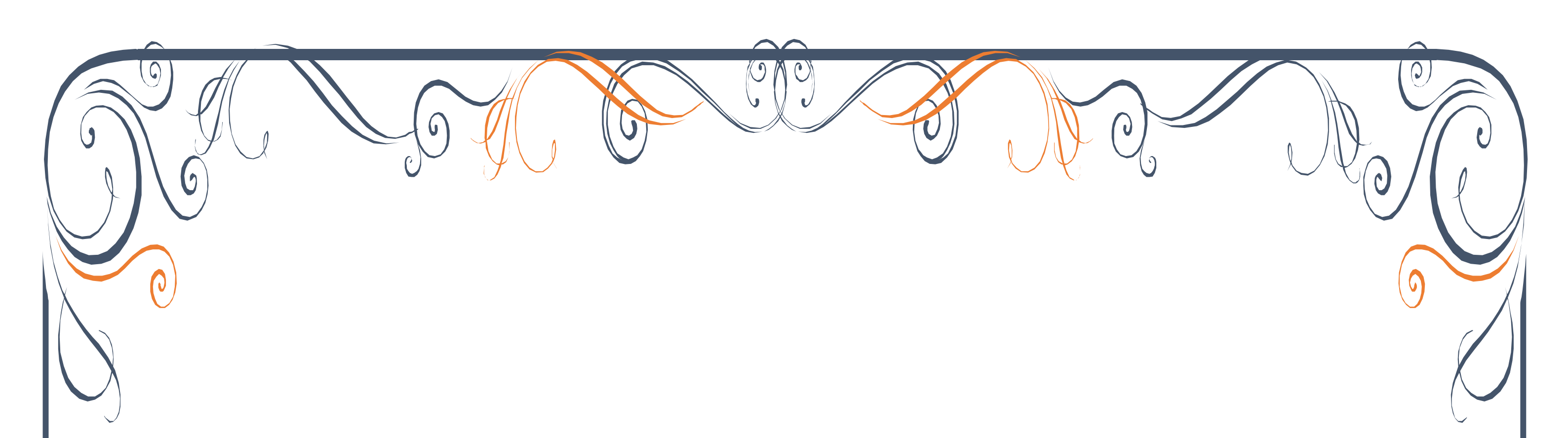
حيــــث : n ــ عدد لفات عمود المرفق فى الدقيقة ، L ــ مشوار المكبس .

ومنها يلاحظ أن تصنيف المحركات من ناحية السرعة لا يعتمد فقط على عدد اللفات بل كذلك على طول المشوار للمكبس .

٧ ــ اتجاه الدوران لعمود المرفق Direction of rotation

أ) محركات لها اتجاه دوران واحد لعمود المرفق Uni-direction engines .

ب) محــــركات يمكن أن تدور فى اتجاهـــين بوســـيلة لعكـس الحركـــة وتسمى Reversible.



٨ ـ الـــــــــــوزن : Weight

أ) محركات ثقيلة وهى عادة المحـــــركات البطيئة، والوزن النوعى لها يكون من ٢٠ ـ ٦٠ كج / الحصان الفرملى .

ب) محركات متوسطة الوزن وهى عادة المحركات المتوسطة الســرعة والــوزن النوعى لها من ٥ : ٢٠ كج / حصان الفرملى .

جـ) محركات خفيفة وهى عادة المحركات الســريعة والوزن النوعى لها أقل مــن ٥ كج / حصان الفرملى .

٩ : الغرض : Purpose

أ) المحركات الرئيسية Main-engines وتقوم بتشغيل الرفاص .

ب) المحركات المســــاعدة Auxiliary - engines وتقــوم بتشــغيل المولــدات الكهربائية أوالطلمبات ..... الخ .

١ ـ ٣ ـ ٣ : الاشترطات الواجب توافرها فى محركات الاحتراق الداخلى البحرية :

Requirements for marine I.C.E

١ ـ تتبع قواعد هيئة التسجيل . Regulations of registration

٢ ـ خفة الوزن وصغر الحجم للســـماح بأكبر حمولة للســـفينة أى زيادة نسبة القدرة / الحجم .

٣ ـ تتحمل الخدمة الشاقة والعمل لفترات طويلة بدون أعطال .

٤ ـ يمكن أداء الصيانة والإصلاح بسهولة مع زيادة الفترة بين الكشفين .

٥ ـ سهولة التشغيل وعكس الحركة .

٦ ـ اقتصادية من ناحية استهلاك الوقود والزيوت أى الاستهلاك النوعى للوقــود والزيوت أقل ما يمكن (للوقود ٠,١٦ : ٠,٢ كج / كيلووات . ساعة)

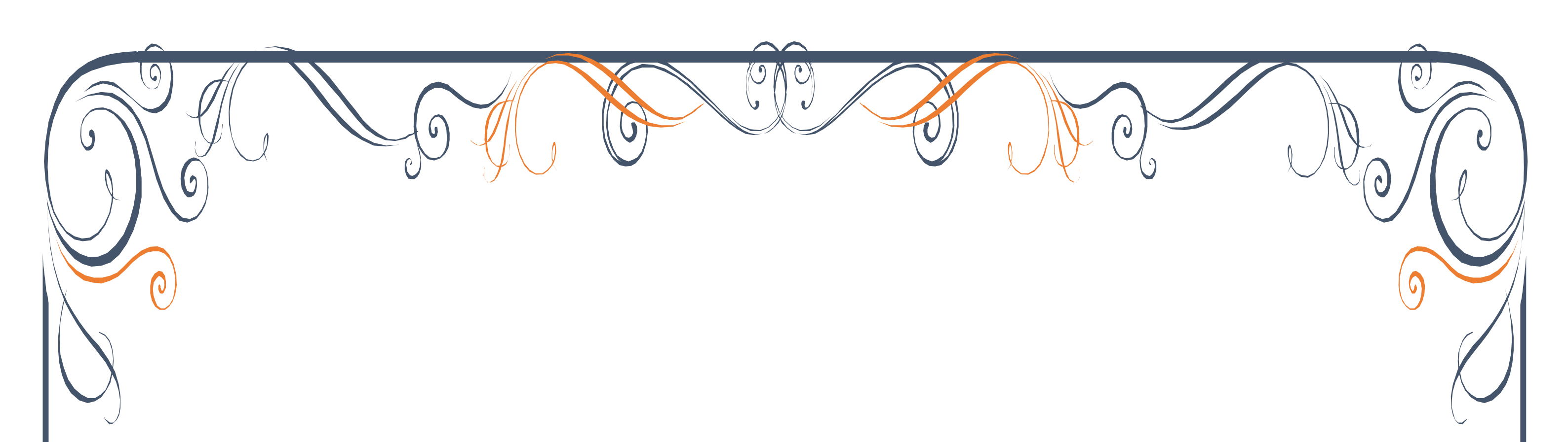
٧ ـ يمكن أن تستخدم أنواع الوقود الرخيصة الثمن (الأقل جودة) .

٨ ـ يمكن استخدامها فى غرف الماكينات الغير مطقمة (أى يعتمد عليها) .

٩ ـ ذات كفاءة حرارية عالية .

١٠ ـ أقل تلوثاً للهواء الجوى ، إلى القيم التي تحددها المنظمة البحرية

١١ ـ أقل ضوضاء واهتزازات .



١ ــ ٣ ــ ٤ مقارنة بين المحركات الرئيسية للسفن

Comparison between prime-movers

أولاً : التربينة البخارية والديزل :Steam turbine & diesel

كانت التربينات البخارية قديماً هى مصدر القوة الدافعة فى حالة القدرات العالية ، ولكن نظراً لامكانية الحصول على قدرات عالية من المحركات الديزل ذات الأقطار الكبيرة فى الوقت الحاضر وتزيد عن ٦٥٠٠٠ كيلووات فأصبحت منافسً لها . ولكن التطور لم يتوقف عند استخدام المحركات البطيئة بل تعداها إلى استخدام محطة مكونة من محركين متوسطين السرعة تصل قدرة كل منهما إلى ٣٠,٠٠٠ كيلووات وأصبحت بدورها منافس آخر للتربينات البخارية ومحركات الديزل بطيئة السرعة .

ثانياً : التربينات الغازية : Gas turbine

بعد الحرب العالمية الثانية ، انتظر العديد من المهندسين أن تكون التربينات الغازية الكبيرة هى أفضل القوى الدافعة ، ولكن لم يتحقق هذا نظراً لظهور صعوبات عديدة لم يتم التغلب عليها للآن،منها النحر والتآكل السريع فى الريش والفوانى وصغر كفاءتها الحرارية بمقارنتها بكفاءة المحركات الديزل . حيث أن الكفاءة الحرارية للتربينات البخارية التى تستخدم بخار ضغطه ١٠٥ كج / ١ سم ٢ ودرجة التحميص تصل إلى ٥٤١ ° مع إعادة التحميص إلى نفس الدرجة تصل على ٣٤% بينما الكفاءة الحرارية للمحركات الديزل تصل إلى ٥٤% حالياً،فى حين أن الكفاءة الحرارية للتربينات الغازية حوالى ٢٥%

(١ ـ ٤) أساسيات الثرموديناميكا

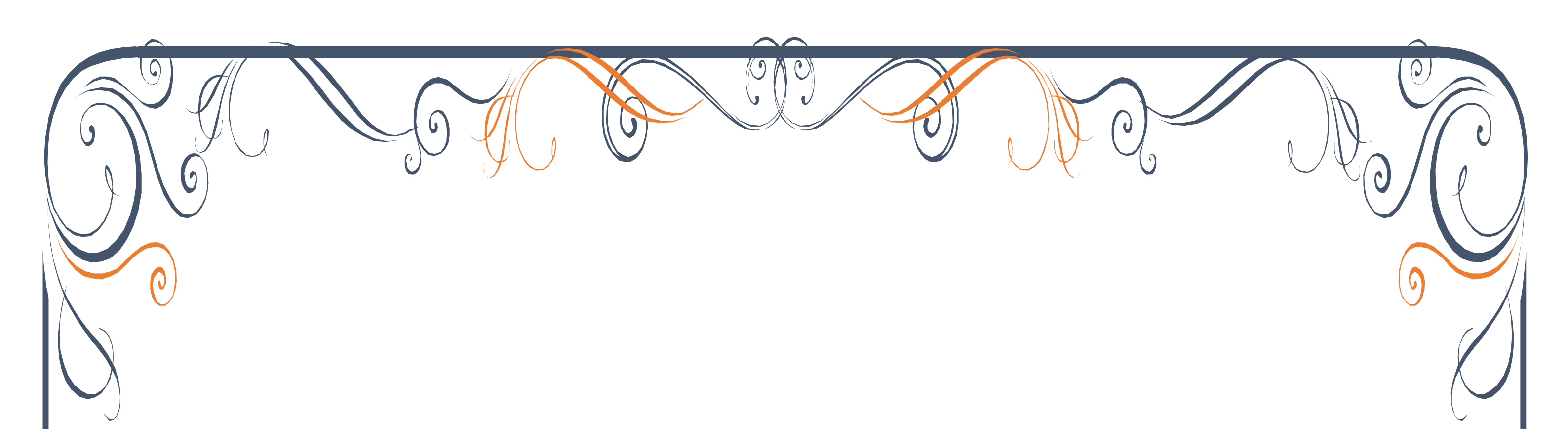
Fundamental thermodynamics

١ ــ ٤ ــ ١ : قوانين الغازات Laws of perfect gases

تعاريف :

الغاز الكامل : هو غاز مثالى ويتبع تماماً قوانين الغازات (قانون بويل وشارل) وتكون الضغوط ودرجات الحرارة فى هذه القوانين جميعها بالقيم المطلقة .

الضغط المطلق : Absolute pressure هو مجموع الضغط الجوى + الضغط المانومترى (المقاس) Gauge .



درجة الحرارة المطلقة Absolute temperature

هى مجموع درجة الحرارة المئوية + ٢٧٣ ، (°م مطلقة = ت°م + ٢٧٣) .

$$T^{o}\ Kelvine = t^{o}C + 273$$

قانون بويل Boyle's Low عند ثبوت درجة الحرارة يتناسب ضغط الغاز مع حجمه تناسباً عكسياً ، فكلما زاد الضغط قل الحجم والعكس صحيح .

$$\text{at} \quad T = C \quad P \propto \frac{1}{V} \quad \text{therefore } P x V = C$$

$$\therefore \quad P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2$$

قانون شارل Charle's low :

أ ـ عند ثبوت الضغط يتناسب حجم الغاز مع درجة حرارته المطلقة تناسباً طردياً .

$$\text{at} \quad P = C \quad V \propto T \qquad \therefore \frac{V}{T} = C$$

$$\text{or} \quad \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \quad \text{and} \quad \frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

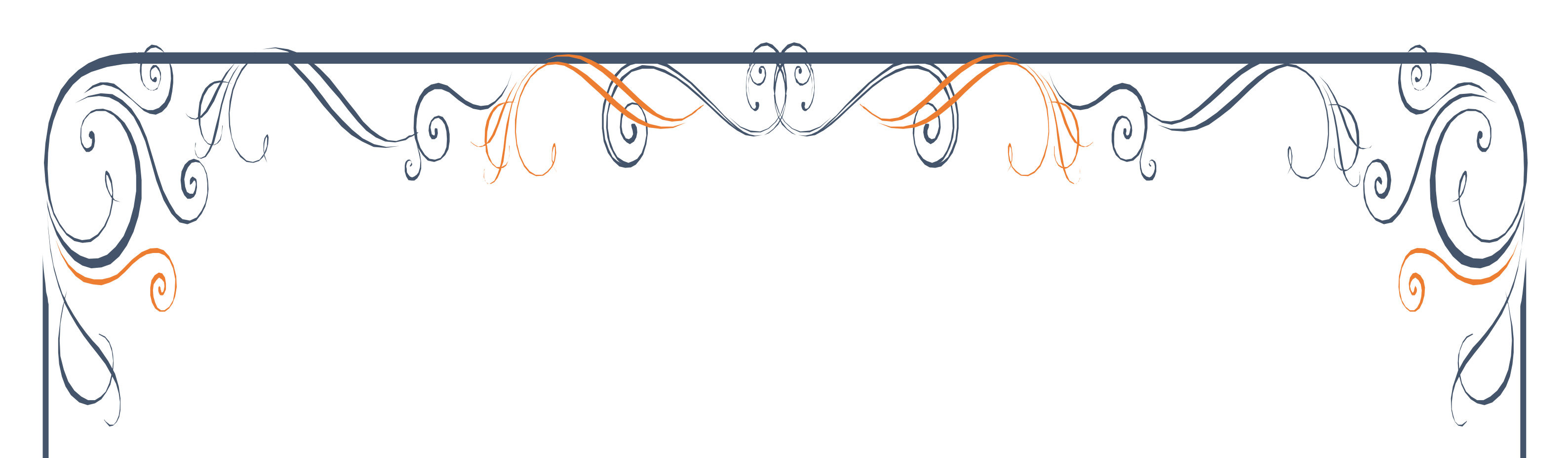
ب ـ عند ثبوت الحجم يتناسب الضغط المطلق للغاز مع درجة حرارته المطلقة تناسباً طردياً .

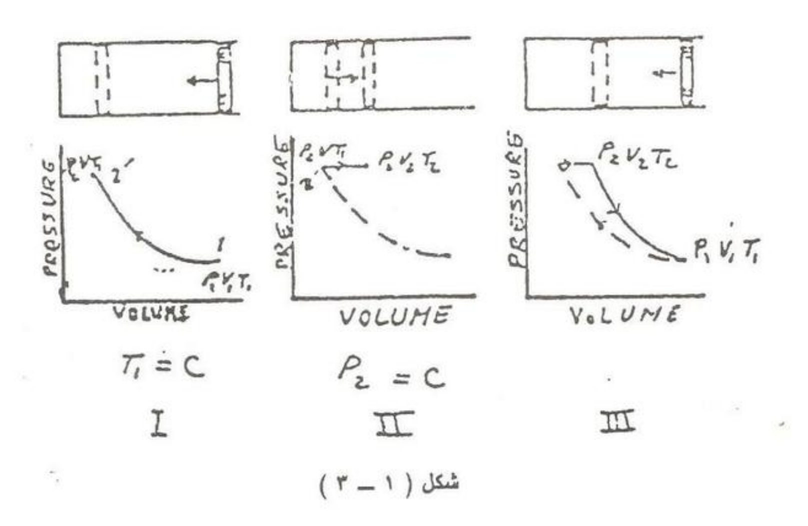
$$\text{at} \quad V = C \qquad P \propto T \qquad \therefore \frac{P}{T} = C$$

$$\text{or} \quad \frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \quad \text{and} \quad \frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

المعادلة العامة للغازات : Combination of boyles & charles low

يذكر كلاً من القانونين السابقين كيف تتغير صفة معينة مع صفة أخرى إذا بقيت الصفة الثالثة ثابتة ، ولكن إذا تغيرت الصفات الثلاث فى وقت واحد ، فيكون من الضرورى ربط القانونين مع بعضهما لتحديد الحالة النهائية للغاز .





شكل (١ ــ ٣)

الشكل (١ ــ ٣) يمثل مكبس واسطوانه مانعة التسرب حتى تكون كمية الغاز ثابتة دائماً . دع الغاز ينضغط من الحالة الأولى ($P_1 V_1 T_1$) إلى الحالة الثانية ($P_2 V_2 T_2$) ولكن لكى يصل للحالة الأخيرة ، فإنه يمر على مرحلتين، الأولى باتباع قانون " بويل " والثانية باتباع قانون " شارل"

أ) من ١ إلى ٢َ عند ثبوت درجة الحرارة T_1

$$\therefore P_1 V_1 = P_2 V \qquad (1)$$

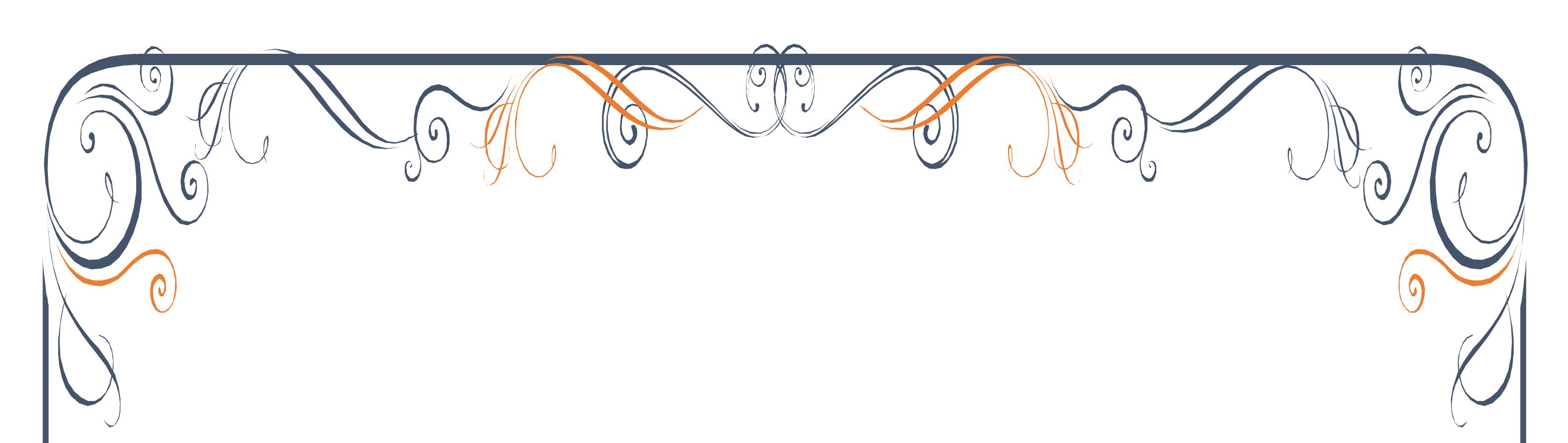
ب) برفع درجة الحرارة من T_1 إلى T_2 يتحرك المكبس من ٢َ إلى ٢ مع الاحتفاظ بالضغط ثابت . $P_2 = Const$

$$\therefore \frac{V_2}{V} = \frac{T_2}{T_1} \quad \text{or} \quad V = \frac{T_1 V_2}{T_2} \qquad (2)$$

بالتعويض فى (١) نحصل على :

$$P_1 V_1 = P_2 \times \frac{T_1 V_2}{T_2}$$

$$\text{or} \quad \frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} = C \quad \text{or} \quad \frac{PV}{T} = C \qquad (3)$$



العلاقة (٣) حقيقية لكتلة معينة من الغاز الكامل واقعة تحت تأثير الانضغاط أو التمدد .
ولوضع أساس للعمل به يستخدم الحجم النوعى للغاز ويرمز له بـــ (υ) وفى هذه الحالة
تكون العلاقة كالآتى : $\frac{P\upsilon}{T} = C$
ويرمز لهذا الرمز الثابت بـــ R وهو ذات قيمة متغيرة لكل غاز ووحداته كالآتى :
KJ / Kg.K

١ ــ ٤ ــ ٢ : التمدد والانضغاط للغاز المثالى :

Expansion & compression of perfect gasses

عند انضغاط كمية من الغاز فى اسطوانة محكمة ، فإنه يزيد ضغط الغاز وينقص حجمه والشغل المبذول لانضغاطه يظهر كطاقة حرارية على الغاز وترتفع درجة حرارته .

أ) الانضغاط مع ثبوت درجة الحرارة : Iso-Thermal compression

لو تصورنا اندفاع المكبس للداخل ببطء لانضغاط الغاز مع مراعاة سحب أى حـــرارة متولدة وذلك للاحتفاظ بدرجة حرارته ثابتة ، فيسمى هذا الانضغاط بالأيزوثرمـالى ، وفى هذه الحـــالة تكون العلاقة بين الضغط والحجم هى $PV = C$ أى تتبع قـــانون (بويل) .

ب) الانضغاط الأدياباتى : Adiabatic compression

لو تصورنا اندفاع المكبس للداخل بسرعة حتى أن لا يكون هناك وقت لانتقال الحرارة من الغاز الوسيط إلى الجو المحيط به أو العكس ، ففى هذه الحالة يظهر كل الشـــغل المبذول كتغير فى الطاقة الداخلية للغاز وهى عملية مثالية وتسمى الانضغاط الأدياباتى ، وفى هذه الحالة تكون العلاقة بين الضغط والحجم هى :

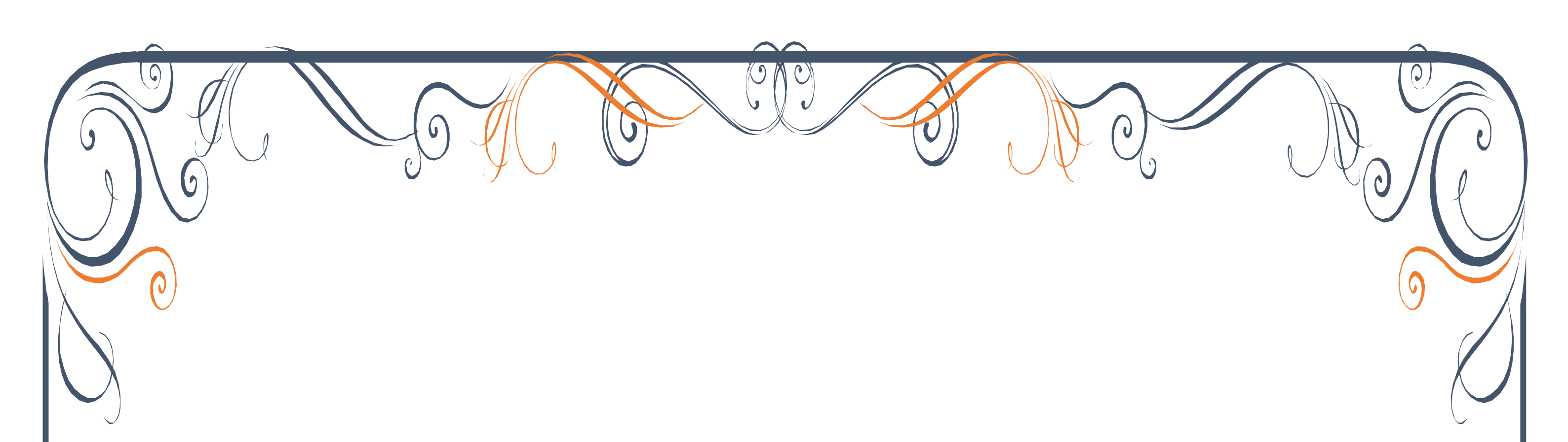
$$P V^{\gamma} = C \qquad \text{حيث أنه} \qquad \gamma = \frac{C_P}{C_V}$$

C_p - الحرارة النوعية عند الضغط الثابت .
C_v - الحرارة النوعية عند الحجم الثابت .

وعليه فإن : $\Delta Q = \Delta E + \Delta W = 0$

أو : $\Delta E = - \Delta W$

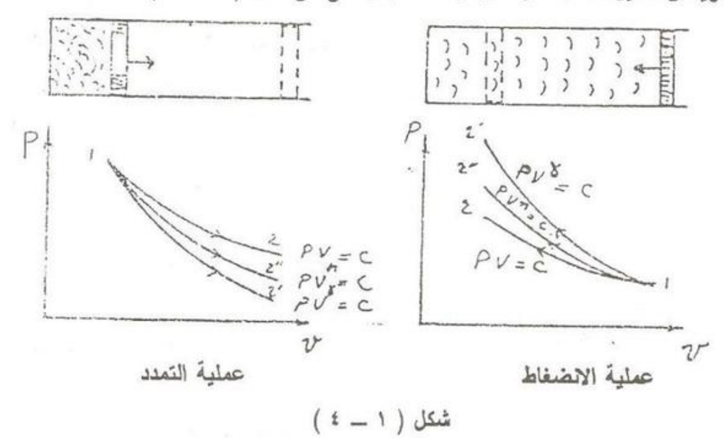
حيث أن :
ΔQ التغير فى الطاقة الحرارية .
ΔE التغير فى الطاقة الداخلية .
ΔW التغير فى الشغل المبذول .



جـ) الانضغاط البوليترولى Polytropic compression

فى حياتنا العملية لا تتحقق عمليات الانضغاط الايزوثروماتى ولا الانضغاط الأدياباتى ، حيث أن بعض الطاقة الحرارية تفقد من الغاز الوسيط إلى الخارج خــلال الجــدران . وخاصة عند التبريد بالماء . وفى هذه الحالة عندما يفقد بعض هذه الطاقــة تســمى بالانضغاط البوليتروبى ، وتكون العلاقة بين الضغط والحجم هى $PV^n = C$ حيث أن قيمة " n " هى : $1 > n > 1.4$.

ويمكن تمثيل هذه العمليات بيانياً كما هو واضح فى شكل (١ ــ ٤)



شكل (١ ــ ٤)

١ ــ ٤ ــ ٣ الشغل المبذول فى عمليات الانضغاط والتمدد المختلفة :

فى شكل (١ ــ ٥) Work transfer

أ ــ مع ثبوت حجم الغاز $V = c$

ويوضح على الشكل بالخط $1 - 2$

الشغل المبذول = صفر

(أ)

شكل (١ ــ ٥)

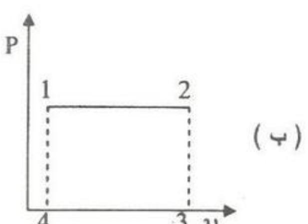


ب ـ مع ثبوت ضغط الغاز $P = C$

ويوضح على الشكل بالخط $1 - 2$

الشغل المبذول $P(V_2 - V_1)$ (ب)

أى مساحة المستطيل $1 - 2 - 3 - 4$



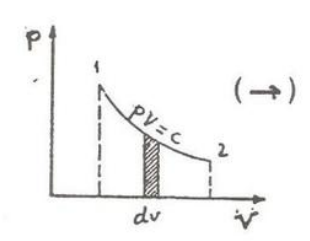
جـ ـ مع ثبوت درجة حرارة الغاز $T = C$

ويوضح على الشكل بالمنحنى $1 - 2$ (جـ)

الشغل المبذول = المساحة تحت الخط $1 - 2$

وهى تساوى $\int_1^2 p\,dv$

$$= P.V\,L_n \frac{V_1}{V_2}$$



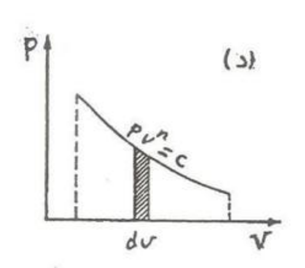
د ـ التمدد أو الانضغاط البوليتروبى : (د)

الشغل المبذول = المساحة تحت الخط $1 - 2$

وهى تساوى $\dfrac{P_1V_1 - P_2V_2}{n - 1}$

هـ ـ التمدد أو الانضغاط الأدياباتى :

فى هذه الحالة نضع γ بدلاً من n .



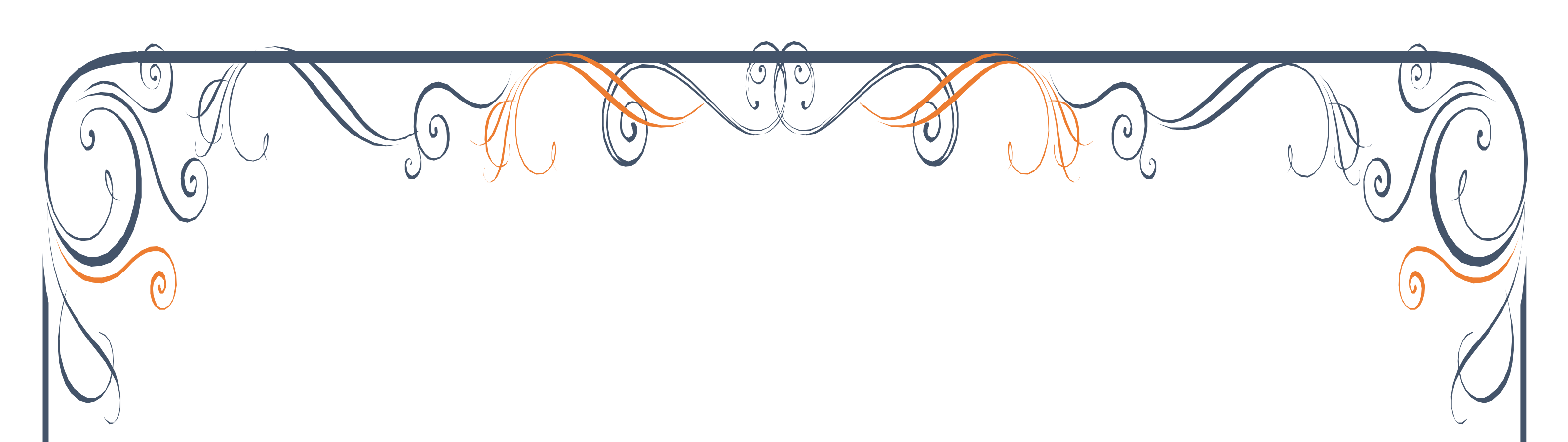
شكل (١ ـ ٥)

١ـ ٤ ـ ٤ : الحرارة النوعية Specific-heat (C)

الحرارة النوعية لمادة هى كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة وحدة الكتلة من هذه المادة درجة واحدة ، ووحدتها هى $(KJ / Kg.^oK)$

الحرارة النوعية عند الحجم الثابت C_V .

الحرارة النوعية عند الضغط الثابت C_P .



١ ــ ٤ ــ ٥ معادلة الطاقة Energy equation

إن قانون الاحتفاظ بالطاقة ينص على أن الطاقة لا تخلق ولا تفنى ولكن يمكن تغييرهــا من صورة إلى أخرى ، وبذلك فإن الطاقة الحرارية Q التى تعطى للغاز الوسـيط سـوف تتحول إلى شغل مفيد وزيادة فى الطاقة الداخلية للغاز ويمكن كتابة ذلك كالآتى :

القانون الأول للثرموديناميكا .... $Q = (E_2 - E_1) + W$

حيث أن : $E_2 - E_1$ = الزيادة فى الطاقة الداخلة .

W = الشغل المبذول .

١ ــ ٤ ــ ٦ : العلاقة بين الحرارة النوعية عند الضغط الثابت والحجم الثابت :

Relation between specific-Heats

أ ــ الطاقة الحرارية المعطاة لغاز لرفع درجة حرارته من T1 إلى T_2

عند الحجم الثابت هى : $Q = m\,C_V\,(T_2 - T_1)$

وهى تساوى الزيادة فى الطاقة الداخلية للغاز + الشغل المبذول .

ولكن فى هـــذه الحالة الشغل المبذول يساوى صفر حيث أن المكبس لــم يتحــرك ،

وعليه فإن : $m\,C_V\,(T_2 - T_1) = (E_2 - E_1)$

ب ــ الطاقة الحرارية المعطاة لغاز لرفع درجة حرارته من T_1 إلى T_2

عند الضغط الثابت هى : $Q = m\,C_p\,(T_2 - T_1)$

وتساوى الزيادة فى الطاقة الداخلية للغاز + الشغل المبذول

وهنا فإن قيمة الشغل المبذول تساوى $P(V_2 - V_1)$

ويمكن التعبير عن قيمة الشغل المبذول بدرجات الحرارة كالآتى :

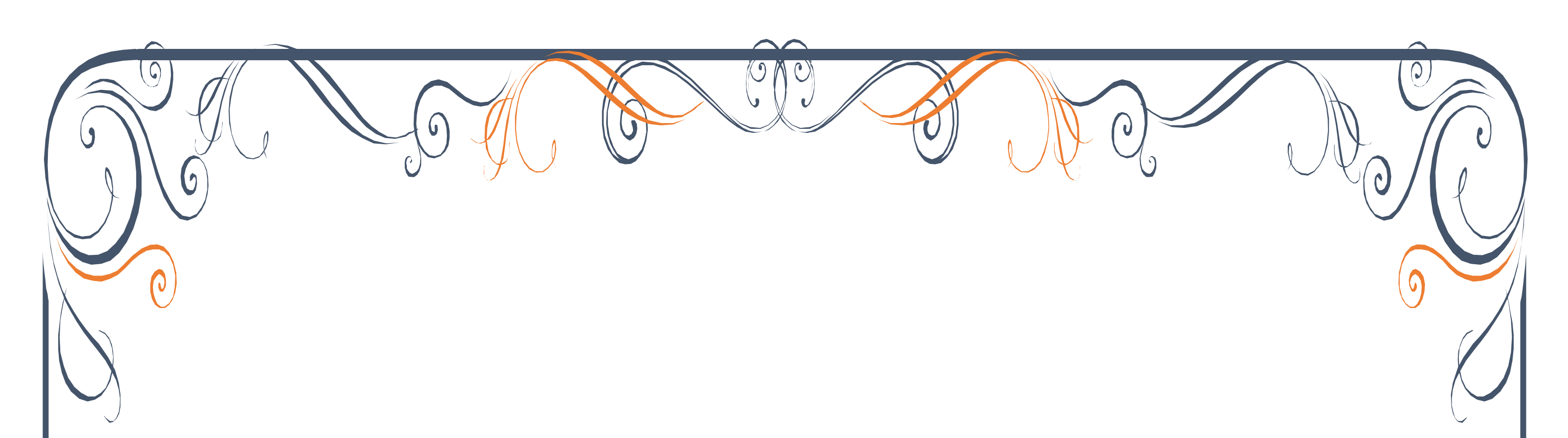
$$P(V_2 - V_1) = P\left(\frac{m\,RT_2}{P} - \frac{m\,RT_1}{P}\right)$$

$$= mR\,(T_2 - T_1)$$

وعليه يمكن كتابة (ب) كالآتى :

$$m\,C_p\,(T_2 - T_1) = (E_2 - E_1) + m\,R\,(T_2 - T_1)$$

Or $$(E_2 - E_1) = m\,C_p\,(T_2 - T_1) - m\,R\,(T_2 - T_1)$$



وحيث أن التغير واحد فى درجات الحرارة فى كل من الحالتين (أ ، ب) وعليه فـإن التغيير فى الطاقة الداخلية يكون نفسه فى الحالتين . أى أن :

$$m\,C_V (T_2 - T_1) = mC_p (T_2 - T_1) - mR (T_2 - T_1)$$

Or $\quad C_V = C_p - R \quad$ and $R = C_p - C_V$

وللهواء تكون R مساوية لـ $R_{air} = 1.005 - 0.718 = 0.287$ KJ/Kg. K

$$\gamma = \frac{C_p}{C_V} = \frac{1.005}{0.718} = 1.4 \text{ for air .}$$

(١ ـ ٥) الدورات المثالية لمحركات الاحتراق الترددية Ideal-cycles

هذه الدورات النظرية تعتبر أساس المقارنة للأداء الحقيقى لآلات الاحتـراق الـداخلى الترددية ، مع افتراض أن المحرك هوائى ذات دورة مقفلة ، أى أن الاسطوانة تحتوى على هواء فقط (مائع التشغيل) ولا يخرج من الاسطوانة ، ولكن يكتسب الحرارة من الجسـم الساخن الخارجى ، ويحول معظم هذه الطاقة الحرارية إلى شغل مفيد . وأخيراً يعطى الطاقة الحرارية الغير مستفادة إلى جسم بارد . فى هذه الحالة تعتبر عمليات التمـدد والانضـغاط أديباتى تماماً ، والكفاءة الحرارية للدورة النظرية هى الكفاءة الحرارية النظرية ويرمز لها بـ η_{thi} .

والكفاءة الحرارية هى النسبة بين الشغل المستفاد والحرارة المعطاة = $\dfrac{\text{الشغل المستفاد}}{\text{الحرارة المعطاة}}$

والشغل المستفاد = الحرارة المعطاة − الحرارة المفقودة .

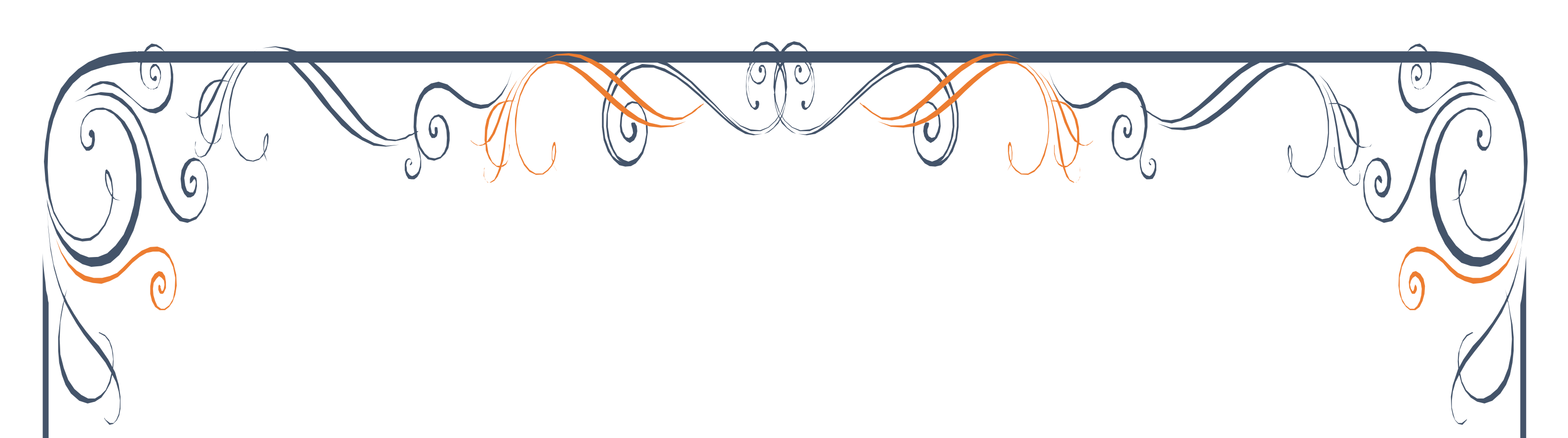
أى أن :

$$\eta_{th} = \frac{\text{heat supplied} - \text{heat rejected}}{\text{heat supplied}}$$

$$= 1 - \frac{\text{heat rejected}}{\text{heat supplied}}$$

١ ـ ٥ ـ ١ : دورة أتو Otto cycle

اقترحها مستر ' بودى روشاز ' عام ١٨٦٢ ولكن لم تتحقق لأول مرة إلا فـى ١٨٦٧ على يد " Otto " وهى دورة ذات الحجم الثابت ، وهى أسـاس المحـرك ذات الاشـتعال بالشرارة "Spark-ignition engine" S.I. .



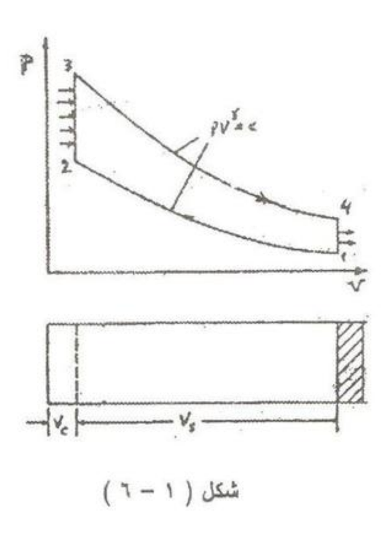
ويوضح الشكل (١ – ٦) هذه الدورة ، وتتكون من العمليات التالية :

1 – 2 تبتدئ الدورة بحالة الهواء $P_1\ V_1\ T_1$ وينضغط الهواء اديباتياً إلى $P_2\ V_2\ T_2$ (شوط الانضغاط) .

2 – 3 تعطى الحرارة من جسم ساخن خارجى فجأة بحيث لا يتغير الحجم بل يرتفع الضغط ودرجة الحرارة إلى $P_3\ T_3$.

3 – 4 تمدد اديباتى (شوط التمدد) وهو الشوط الفعال حيث يقل الضغط ودرجة الحرارة إلى $P_4\ T_4$ ولكن يزيد الحجم إلى الحجم الأصلى V_1 .

4 – 1 تتم بها الدورة وذلك باعطاء الحرارة إلى جسم بارد خارجى عند الحجم الثابت وبذلك يقل الضغط ودرجة الحرارة إلى P_1 , T_1



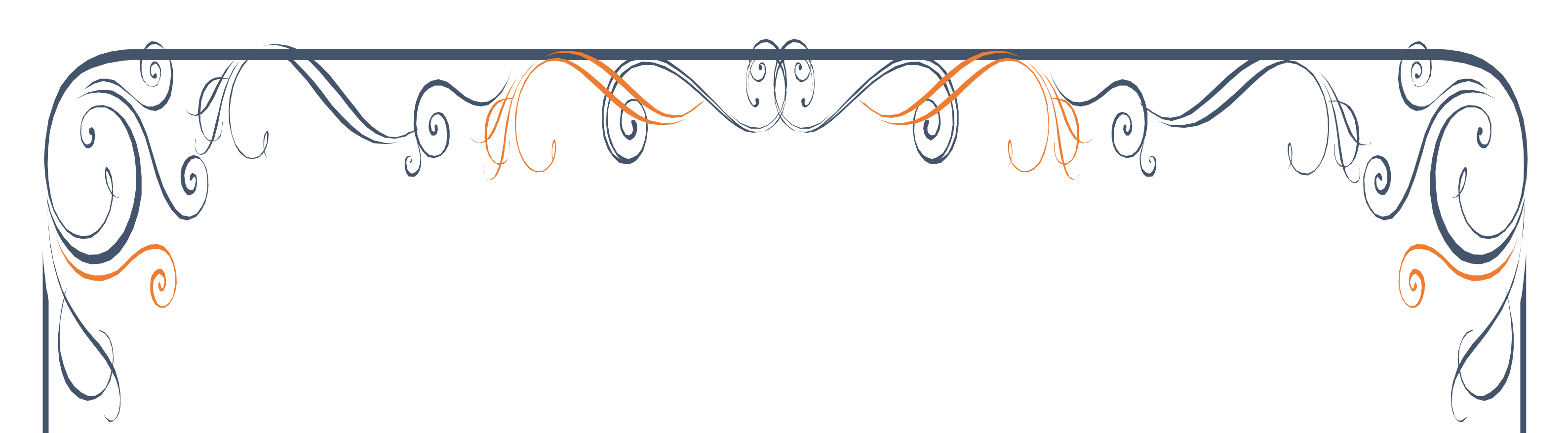
شكل (١ – ٦)

وعلى ذلك فإن الكفاءة الحرارية η_{thi} يمكن حسابها كالآتى :

الحرارة المعطاة = $m\ C_V\ (T_3 - T_2)$

الحرارة المفقودة = $m\ C_V\ (T_4 - T_1)$

$$\eta_{thi} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2}$$



ويمكن التعبير عن هذه الكفاءة بالعلاقة بين الحجوم كالآتى :

نسبة الانضغاط " r " $= \frac{V_1}{V_2}$ ونسبة التمدد $= \frac{V_4}{V3}$

وحيث أن $V_4 = V_1$ $\quad V_2 = V_3$ $\quad \therefore$ نسبة الانضغاط = نسبة التمدد

كذلك : $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$

– من المعادلة العامة للغازات :

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \qquad \therefore \frac{P_2}{P_1} = \frac{T_2 V_1}{T_1 V_2} \qquad (1)$$

and $\quad P_1 V_1^{\gamma} = P_2 V_2^{\gamma} \qquad \therefore \frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma} \qquad (2)$

from (1) , (2) $\qquad \therefore \frac{T_2 V_1}{T_1 V_2} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma}$

or $\qquad \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1} = r^{\gamma-1}$

$$\therefore \quad T_2 = T_1 . r^{\gamma-1} \qquad (3)$$

بنفس الطريقة يمكن إثبات أن :

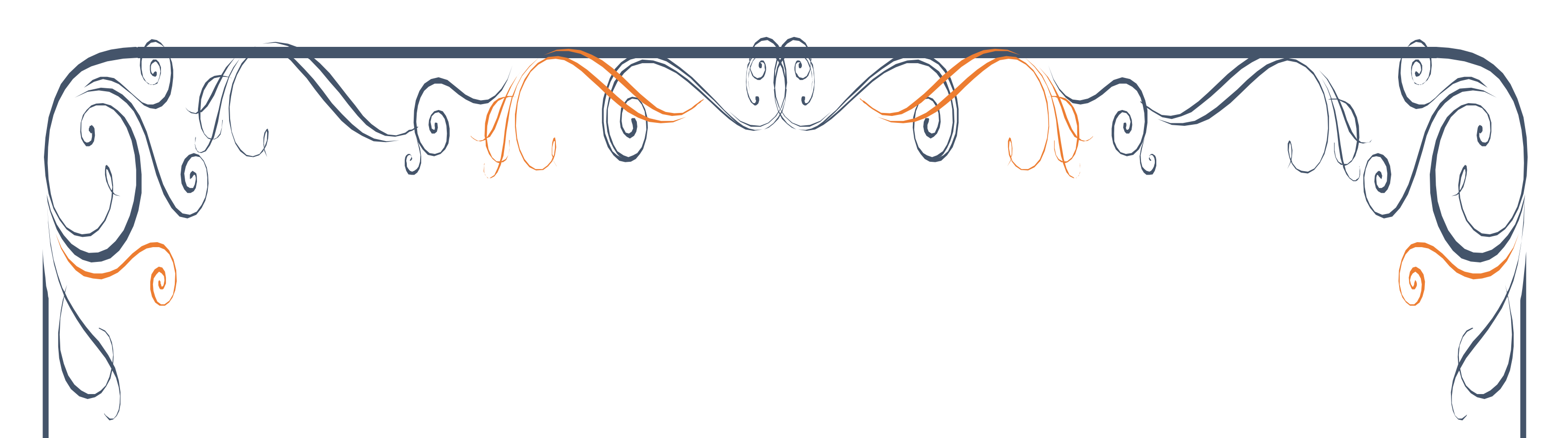
$$\frac{T_3}{T_4} = \left(\frac{V_4}{V_3}\right)^{\gamma-1} = r^{\gamma-1}$$

$$\therefore T_3 = T_4 . r^{\gamma-1} \qquad (4)$$

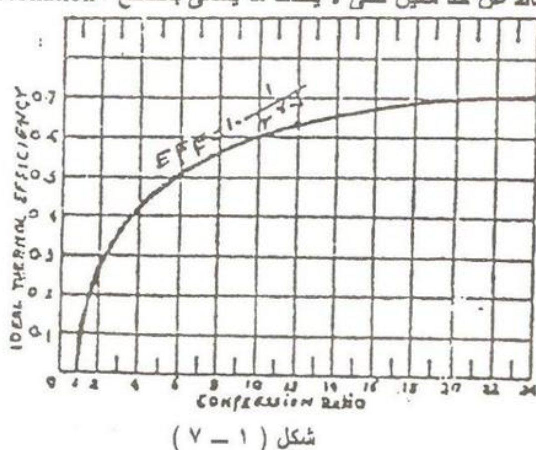
بطرح المعادلة (3) من (4)

$$\therefore \quad (T_3 - T_2) = (T_4 - T_1) r^{\gamma-1}$$

or $\qquad \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} = \frac{1}{r^{\gamma-1}} \qquad \therefore \eta_{th_i} = 1 - \frac{1}{r^{\gamma-1}}$



ويمكن تمثيل هذه العلاقة بيانياً كما فى الشكل (١ ــ ٧) ويلاحظ أنه كلما زادت نسبة الانضغاط r تزداد الكفاءة الحرارية . وفى الحقيقة لا يمكن زيادة r فى محركات البنــزين عن ١٢ ، وذلك لأنه بعد هذه القيمة فإنه لا يوجد زيادة ملحوظة فى الكفاءة الحرارية ، هذا علاوة على صعوبات أخرى فى تصميم المحرك . وفى المحرك الحقيقى يجــب أن لا تزيــد نسبة الانضغاط عن حد معين حتى لا يحدث ما يسمى بالصفع Detonation .



شكل (١ ــ ٧)

١ ــ ٥ ــ ٢ : دورة ديزل Diesel cycle

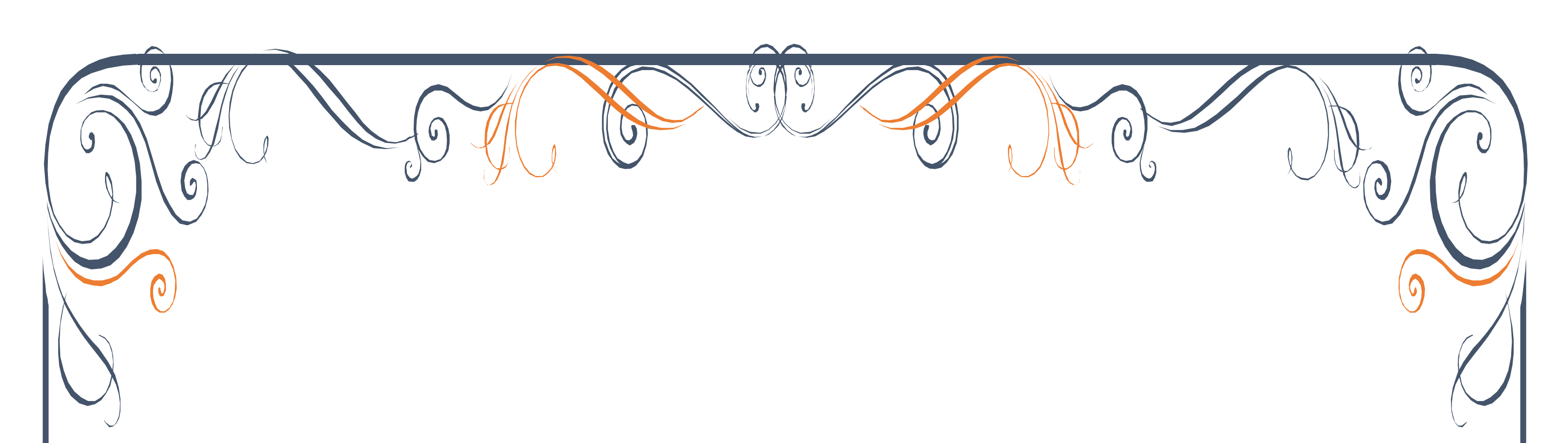
اقترح " رودولف ديزل " هذه الدورة عام ١٨٨٩ وحقق فكرته ١٨٩٢ ، وتسمى بدورة الضغط الثابت Modified constant-pressure . وقد طبقت فى المحركات الديزل القديمــة حيث يستمر الحقن الهوائى للوقود لفترة طويلة عند الضغط الثابت ، ولكن هذه الدورة غير مطبقة فى المحركات الديزل الحديثة .

والأسباب فى استخدام هذه الدورة هو زيادة الجودة الحرارية عن طريق زيــادة نســبة الانضغاط .

ويوضح شكل (١ ــ ٨) هذه الدورة وتتكون من العمليات الآتية :

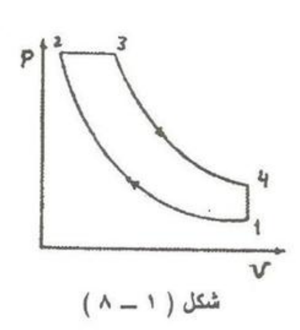
1 – 2 انضغاط اديباتى يزداد الضغط ويقل الحجم (شوط الانضغاط) إلى P_2 , V_2 , T_2

2 – 3 المكبس فى النقطة الميتة العليا و وتعطى الحرارة بمعدل معين للمحافظة علــى الضغـــط ثابت بالرغم من حركة المكبس و ويزيد الحجـــم ودرجة الحرارة إلى V_3 , T_3 .



4 – 3 تمدد اديباتى (شوط التمدد) إلى $V_4 = V_1$ ويقل الضغط ودرجة الحرارة إلى P_4 , T_4 .

1 – 4 تتم بها الدورة وذلك بإعطاء الحرارة إلى جسم بارد خارجى عند الحجم الثابت ، وبذلك يقل الضغط ودرجة الحرارة إلى P_1 , T_1 .



شكل (١ ــ ٨)

وعلى ذلك فإن η_{th} يمكن حسابها كالآتى :

الحرارة المعطاه $m\,C_p\,(T_3 - T_2)$

الحرارة المفقودة $m\,C_V\,(T_4 - T_1)$

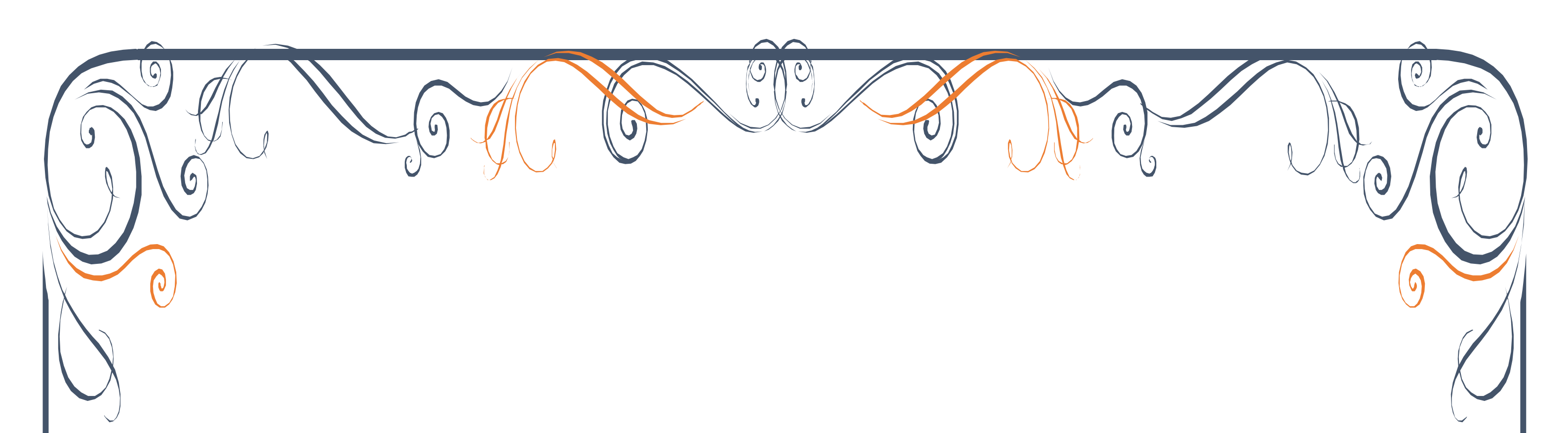
$$\eta_{thi} = 1 - \frac{C_v(T_4 - T_1)}{C_p(T_3 - T_2)} = 1 - \frac{1}{\gamma}.\frac{T_4 - T_1}{T_3T_2}$$

وبفرض أن نسبة الانضغاط $r = \dfrac{V_1}{V_2}$ ونسبة الحجم $\rho = \dfrac{V_3}{V_2}$

وبالتعويض يمكن اثبات أن η_{th} لدورة ديزل هى :

$$\eta_{thi} = 1 - \frac{1}{r^{\gamma - 1}} \times \frac{1}{\gamma}\,\frac{\rho^{\gamma} - 1}{\rho - 1}$$

ملحوظــــة : بوضع $\rho = 1$ تصبح الكفاءة الحرارية مماثلة لدورة أوتو ، وللبرهـــان نضع : $\rho = 1 + \Delta$ حيث أن Δ رقم صغير جداً .



$$\therefore \eta_{thi} = 1 - \frac{1}{r^{\gamma-1}} \times \frac{1}{\gamma}\left[\frac{(1+\Delta)^{\gamma}-1}{1+\Delta-1}\right]$$

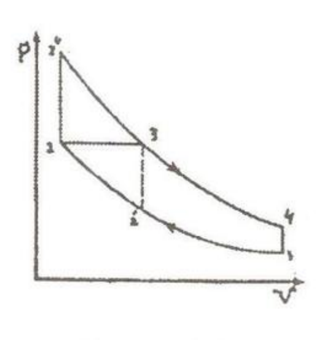
$$= 1 - \frac{1}{r^{\gamma-1}} \times \frac{1}{\gamma}\left[\frac{1+\gamma\Delta+\text{.........}-1}{\Delta}\right]$$

$$= 1 - \frac{1}{r^{\gamma-1}}$$

بمقارنة الكفاءة الحرارية لدورة ديزل مع الكفاءة الحرارية لدورة " أوتو " يتضح أنه عندما تتساوى نسبة الانضغاط تكون الكفاءة الحرارية لدورة " أوتو " أكبر من الكفاءة الحرارية لدورة " ديزل " وهذا لا يمكن تنفيذه عملياً وذلك لأنه فى الأولى قد يحدث الاشتعال قبل وصول المكبس إلى النقطة الميتة العليا ، أى أن نسبة الانضغاط محددة ولا يمكن تجاوزها ، فى حين أنه فى المحركات الديزل يمكن زيادة نسبة الانضغاط إلى الدرجة المطلوبة .

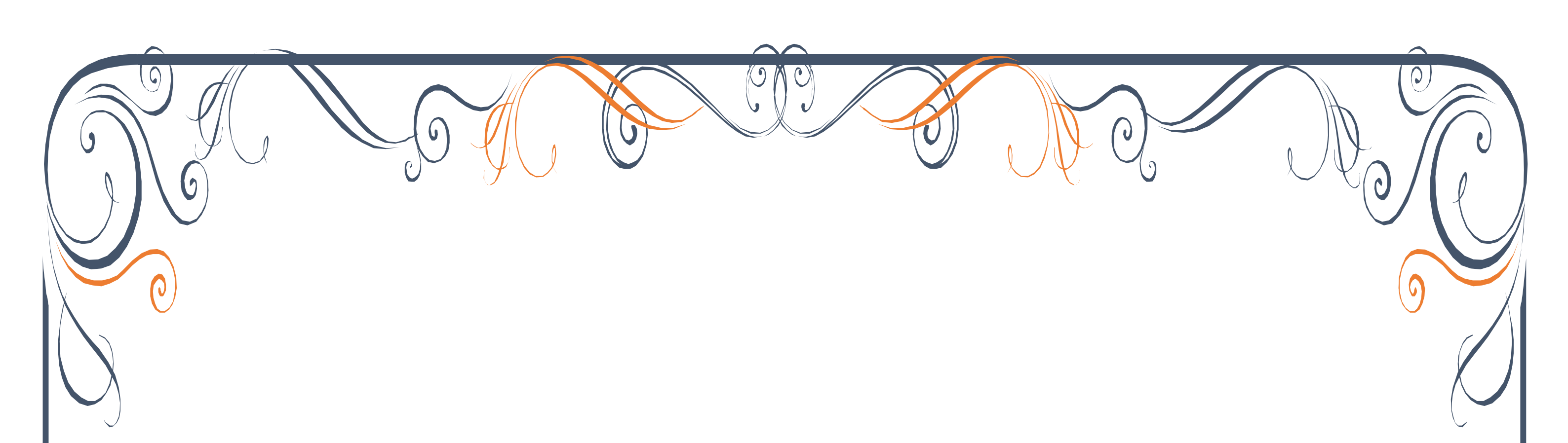
بالنظر إلى شكل (١ – ٩) إذا تساوت r أى نسبة الانضغاط فى الدورتين ، يتضح أن الكفاءة الحرارية لدورة أوتو أعلى – بمقارنة المساحة المحصورة – $\eta_{th.D} > \eta_{th.O}$ ، ولكن إذا ثبت أعلى ضغط فى كلا الاسطوانتين P_3 وتساوت أيضاً الحرارة المعطاه ، فإن نسبة الانضغاط " r " فى دورة الديزل تكون أعلى منها فى دورة أوتو ، ونلاحظ أن الكفاءة الحرارية لدورة الديزل أعلى أى أن :

$$\eta_{thD} > \eta_{theo}$$



شكل (١ – ٩)





١ ـ ٥ ـ ٣ : الدورة المختلطة Dual (mixed) cycle

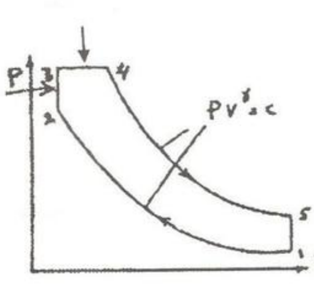
إن معظم محركات الديزل الحالية تعمل على هذه الدورة حيث تضاف الحرارة جزئياً عند ثبوت الحجم وجزئياً عند ثبوت الضغط .

بالنظر إلى الشكل (١ ـ ١٠) نجد أن الدورة تتكون من العمليات التالية :

2 – 1 تبتدئ الدورة بحالة الهواء $P_1 V_1 T_1$ وينضغط الهواء اديباتياً إلى $P_2 V_2$ T_2 (شوط الانضغاط) .

3 – 2 تعطى الحرارة من جسم ساخن خارجى فجأة بحيث لا يتغير الحجم بل يرتفع الضغط ودرجة الحرارة إلى P_3 , T_3 .

4 – 3 تعطى الحرارة بمعدل معين للمحافظة على الضغط ثابت بالرغم من حركة المكبس ويزيد الحجم ودرجة الحرارة إلى V_4 , T_4 .



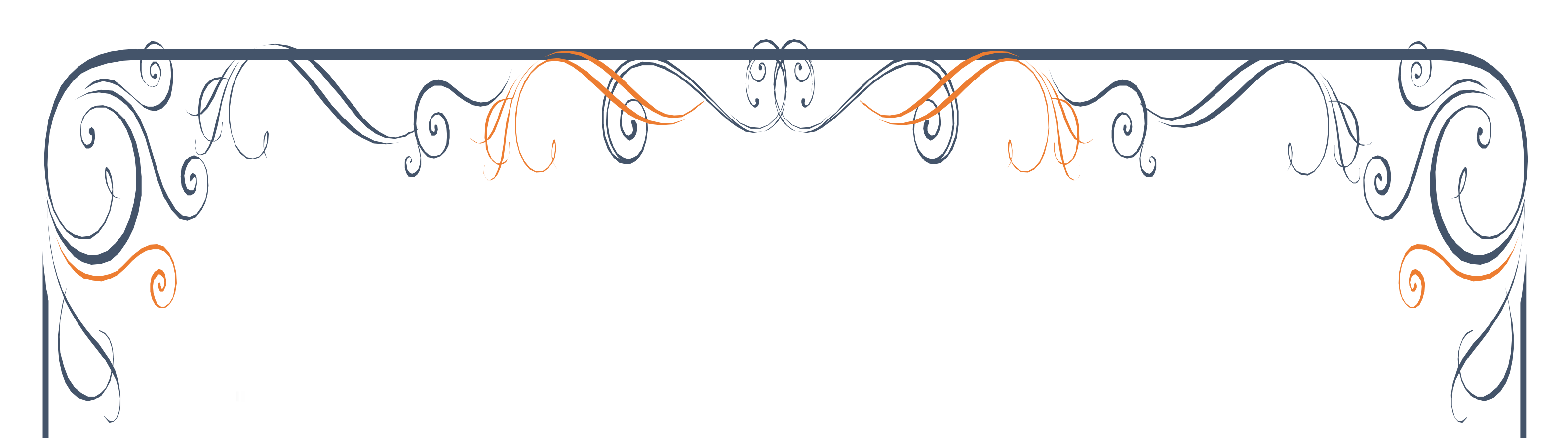
شكل (١ ـ ١٠)

5 – 4 تمدد اديباتى (شوط التمدد) وهو الشوط الفعال حيث يقل الضغط ودرجة الحرارة إلى P_5 , T_5 ولكن يزيد الحجم إلى الحجم الأصلى V_1 .

1 – 5 تتم بها الدورة وذلك بإعطاء الحرارة إلى جسم بارد خارجى عند الحجم الثابت ، وبذلك يقل الضغط ودرجة الحرارة على P_1 , T_1 .

ويلاحظ أنه فى المحركات الحديثة المشحونة جبرياً تعطى معظم الحرارة عند الحجم الثابت ، وأما كمية الحرارة المعطاة عند الضغط الثابت فهى قليلة ، وبهذا فإن الدورة تقترب من دورة ' أوتو ' وهذا يؤدى إلى زيادة الأحمال الناتجة عن الاحتراق .

وحيث أن اشتعال الوقود فى هذه المحركات يعتمد على درجة حرارة الهواء بعد الانضغاط ، لذا وجب ان تكون نسبة الانضغاط عالية ، وعادة لا تقل عن ١٢ . وإذا زادت نسبة الانضغاط ، زاد أقصى ضغط وهذا غير مسموح به إلا لحدود معينة لاعتبارات التصميم .



وبفرض نسبة رفع الضغط Pressure-ratio $\alpha = \frac{P_3}{P_2}$

ونسبة زيادة الحجم Volume-ratio $\rho = \frac{V_4}{V_3}$

يمكن إثبات أن الكفاءة الحرارية النظرية :

$$\eta_{thi} = 1 - \frac{1}{r^{\gamma-1}} \cdot \frac{\alpha \rho^{\gamma} - 1}{(\alpha - 1) + \gamma\alpha(\rho - 1)}$$

ويمكن التوصل إلى الكفاءة الحرارية النظرية لكل من دورتى " أوتو " و " ديزل " من المعادلة السابقة على الوجه التالى :

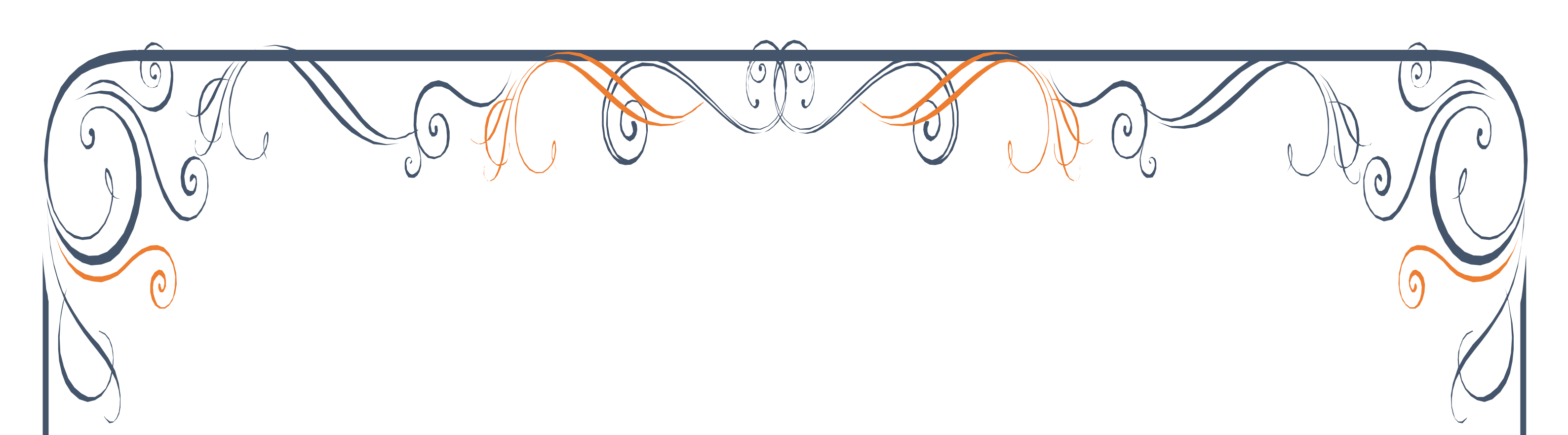
$$\text{when } \rho = \frac{V_4}{V_3} = 1 \qquad \therefore\ \eta_{thi} = 1 - \frac{1}{r^{\gamma-1}} \qquad \text{(Otto)}$$

$$\text{when } \alpha = \frac{P_3}{P_2} = 1 \qquad \therefore\ \eta_{thi} = 1 - \frac{1}{r^{\gamma-1}} \cdot \frac{\rho^{\gamma} - 1}{\gamma(\rho - 1)} \qquad \text{(Diesel)}$$

وهناك بعض الملاحظات عند مقارنة الدورات النظرية الثلاث السابقة يمكن إجمالها فيما يلى :

١ ــ إذا تساوت نسبة الانضغاط للثلاث دورات فتكون الكفاءة الحرارية النظرية η_{thi} لدورة أوتو أكبر من η_{thi} لدورة " ديزل " وأن η_{thi} للدورة المختلطة هى وسط بينهما .

٢ ــ إذا تساوى أقصى ضغط P_3 وتغيرت r مع إعطاء كمية حرارة واحدة فتكون η_{thi} لدورة " ديزل " أكبر من η_{thi} لدورة " أوتو " وأن η_{thi} للدورة المختلطة هى وسط بين η_{thiO} و η_{thiD} .



١ ـ ٥ ـ ٤ : دورة " جول " ذات الضغط الثابت Joule cycle

وهذه هى الدورة البسيطة للتربينة الغازية وبالنظر إلى الشكل (١ ـ ١١) نجد أن الدورة تتكون من العمليات التالية :

1 – 2 يتم انضغاط الهواء الجوى اديباتى من P_1 , T_1 إلى P_2 , T_2

2 – 3 تعطى الحرارة عند الضغط الثابت P_2 فترتفع درجة حرارة الهواء إلى T_3 .

3 – 4 يتمدد الغاز فى التوربين اديباتي إلى الضغط الأولى $P_1 = P_4$ وتكون درجة الحرارة T_4

4 – 1 يتم تبريد الغاز بالهواء الجديد حيث تصل درجة الحرارة إلى T_1

شكل (١ ـ ١١)

حساب الجودة الحرارية (Plant efficiency) η_P

يمكن تمثيل الشغل المعطى من التوربين بالمساحة 5 – 6 – 3 – 4 – 5 - و الشغل المأخوذ للضاغط بالمساحة 5 – 1 – 2 – 6 – 5 .

وبذلك يكون الشغل لمستفاد هو عبارة عن المساحة 1 – 4 – 3 – 2 – 1

كمية الحرارة المعطاة للدورة = $C_p (T_3 – T_2)$

كمية الحـــــرارة المفقودة = $C_p (T_4 – T_1)$

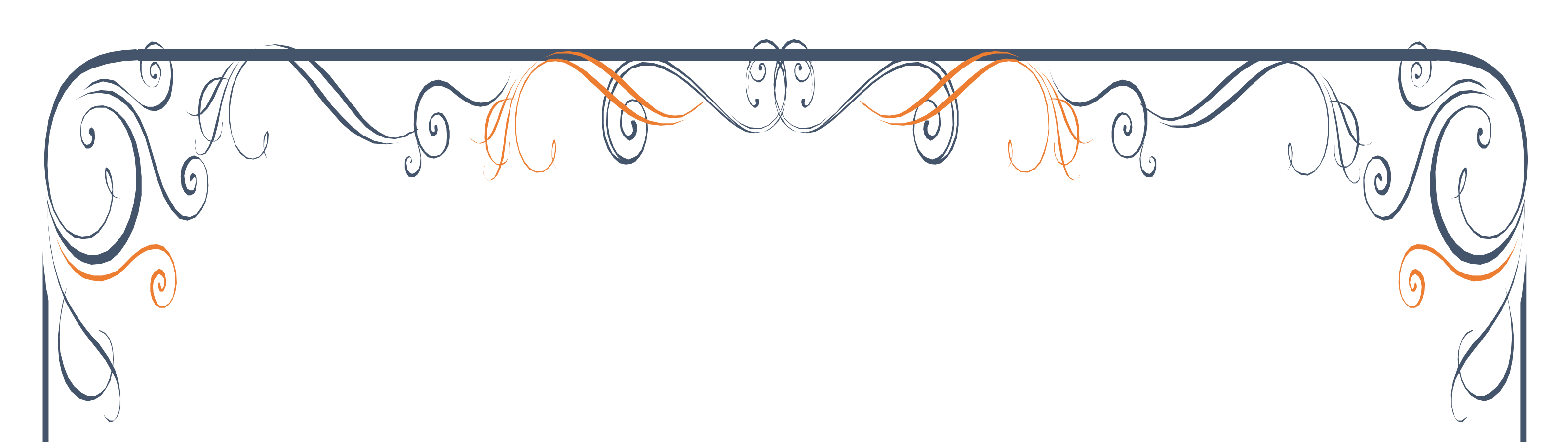
$$\eta_{th} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2}$$

فإذا فرضنا أن نسبة الانضغاط $R = \frac{P_2}{P_1}$ فيمكن إثبات أن :

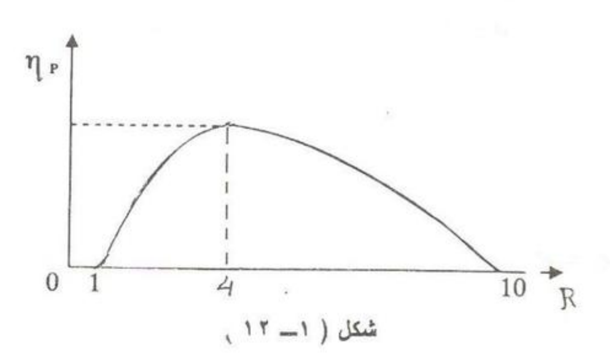
الجودة الحرارية

$$\therefore \eta_P = 1 - \frac{1}{R^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}}$$

والعلاقة بين η_P - R يبينها المنحنى المرسوم فى شكل (١ ـ ١٢) وفيه يلاحظ



أن جودة المحرك التوربينى η_P تزاد كلما زادت نسبة الضغط الأقصى إلى حد معين حتى تصل إلى نهاية عظمى، ثم تقل بعد ذلك على الصفر .



شكل (١ ـ ١٢)

(١ ـ ٦) الدورات الحقيقية لمحركات الاحتراق الداخلى

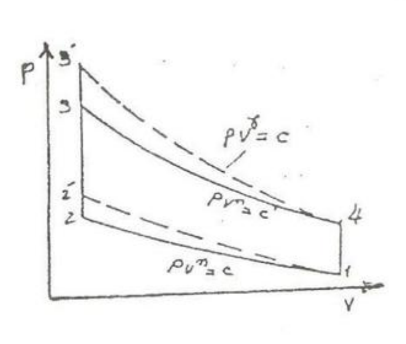
Internal combustion engine operation cycles

يوجد تشابه بين الدورات الحقيقية لآلات الاحتراق الداخلى والدورات المثالية القياسية السابقة

١ ـ ٦ ـ ١ : دورة أوتو الحقيقية Otto.cycle

بالنظر على الشكل (١ ـ ١٣) يتضح الآتى :

أ- أن خط الانضغاط الحقيقى الذى يتبع قانون $PV^n = C$ أوطى من خط الانضغاط الادياباتى . وهذا يمكن تعليله بالآتى : انتقال الحرارة من داخل الاسطوانة إلى خارجها ، أن الحرارات النوعية C , γ مختلفة نظراً لاختلاط الهواء مع الغازات المتبقية من الدورة السابقة... الخ .



شكل (١ ـ ١٣)



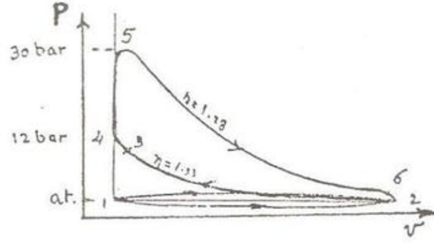
ب- الاحتراق الحقيقى يعطى درجة حرارة وضغط أقل من المثـالى نظـراً لانفصـال جزيئات الوقود بتأثير درجات الحرارة العالية .

ج- أن خط التمدد الحقيقى أوطى من خط التمدد الادياباتى لنفس السبب فى (أ)

وعامة يمكن القول أن الافتراضات السابقة فى الدورات المثالية مثـل : عـدم انتقـال الحرارة من داخل الاسطوانة إلى خارجها ــ وسط التشغيل هو الهـواء فقـط ــ الحـرارة المعطاة من جسم ساخن وليس وقود يتم حقنه داخل الاسطوانة ــ ثبوت الحرارة النوعية . علاوة على اعتبارات عملية مثل عدم فتح الصمامات لحظياً يعنى دوران الأركان ، وعليـه فإن شكل الكرت الحقيقى يكون كالآتى :

فشكل (١ ــ ١٤) يمكن اعتباره كنموذج لدورة محرك بنزين يتم الاشتعال بالشرارة S.I. engine ويعمل على الدورة الرباعية ، والقراءات الموضحة يمكن الأخـذ بهـا مـن التطبيقات العملية

2 – 1 شـوط السـحب ويكـون الضغط أقل من الجـوى بقليل ودرجة الحـرارة حوالى ١٠٠ ° م والنقطة (2) هـى بدايـة الانضغاط .



شكل (١ ــ ١٤)

2 – 4 شـــوط الانضغاط إلى حـــوالى ١٢ بار ودرجة الحرارة حوالى ٤٢٠ ° م .

$r = 8:1 , n = 1.33$

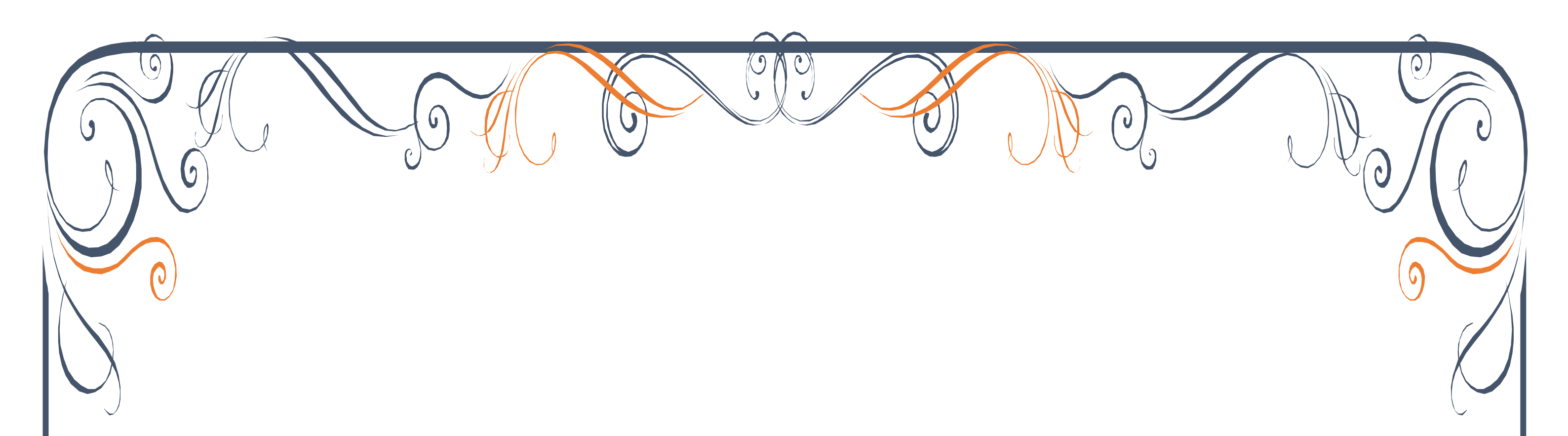
عند النقطة (3) تحدث الشرارة ويتم الاحتراق فجأة (على الحجم الثابت تقريباً) .

4 – 6 الاحتراق والتمدد إلى ٢ بار ودرجة حرارة ٢٢٠ ° م ($n = 1.28$)

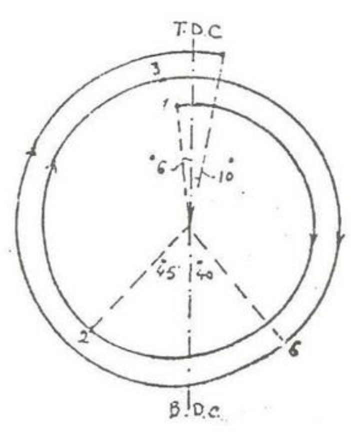
عند النقطة (5) أقصى ضغط ويساوى ٣٠ بار ، ودرجـة الحـرارة تسـاوى ١٣٠٠ ° م تقريباً

6 – 1 شوط العادم ويكون أعلى من الجوى بقليل .

ملحوظة : الضغط المتوسط الفعال لمثل هذه الدورة يكون حوالى ٣ بار .



دائرة التوقيت Timing diagram



شكل (١ ـ ١٥)

ـ فتح صمام السحب ٦° قبل ن . م . ع
ويستمر إلى ٤٥° بعد ن.م.س (قفل صمام السحب) .

ـ يستمر الانضغاط إلى حدوث الشـرارة عند (3) .

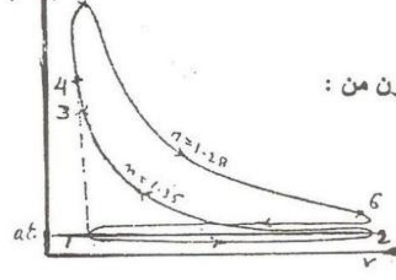
ـ يستمر الشوط الفعال إلى النقطة (6) فتح صمام العادم ٤٠° قبل ن.م.س.

ـ يستمر خروج العادم أى قفـل صـمام العادم ١٠° بعد ن.م.ع. .

١ ـ ٦ ـ ٢ : دورة الديزل رباعى الأشواط الحقيقية :

Compression ignition 4-stroke cycle :

أولاً : غير مشحون جبرياً :



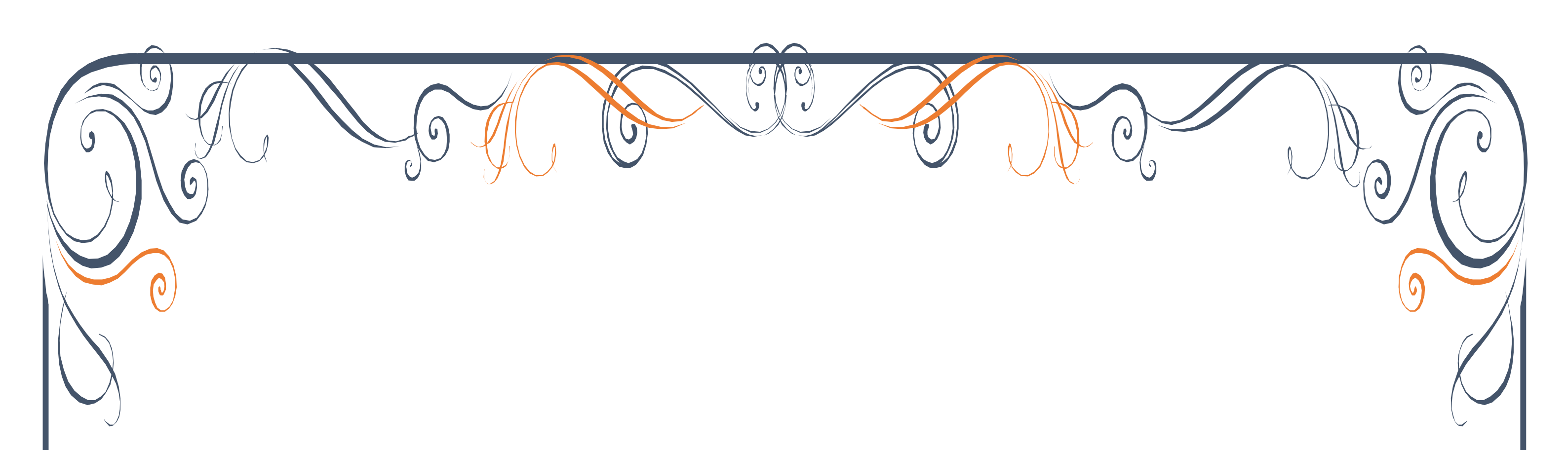
شكل (١ ـ ١٦)

بالنظر للشكل (١ ـ ١٦) يتضح أن الدورة تتكون من :

2 – 1 شوط السحب : عند نـزول المكـبس لأسـفل يـتم سـحب الهـواء داخـل الاسطوانة وتمتلئ الاسطوانة بالهواء .

4 – 2 شوط الانضغاط : عند تحرك المكبس لأعلى تكون الصمامات مقفولة وينضـغط الهواء إلى قدر كاف للاشتعال الذاتى للوقود (عند حقنه) حوالى ٤٥ بـار وتكون درجة الحرارة حوالى ٥٥٠ ° م ($r = 12 : 1$, $n = 1.35$)

6 – 4 شوط الاحتراق والتمدد : يتم حقن الوقود قبل وصول المكـبس إلـى ن.م.ع. بقليل (3) وذلك لإعطائه وقت كاف لتحضيره للاشتعال ، يحترق الوقـود



وتتولد الغازات التى تضغط على المكبس وتدفعه لأسفل حتى يصل إلى ن.م.س. والقوة المتولدة هى التى تدير عمود المرفق ــ أقصى ضغط حوالى ٥٠ بار ودرجة الحرارة حوالى ١٥٠٠ ° م (غير مشحون جبرياً) وينتهى المشوار بفتح صمام العادم (n = 1.28) .

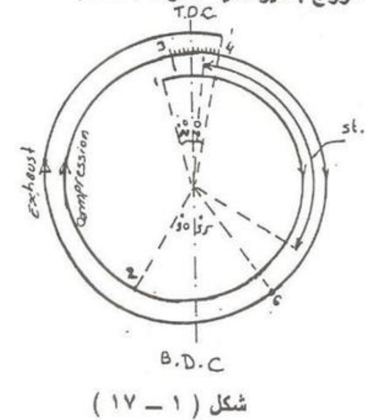
1 – 6 شوط العادم : يكون ضغط العادم حوالى ٣ بار ودرجة الحرارة حوالى ٤٠٠°م، يفتح صمام العادم ويتحرك المكبس لأعلى إلى ن.م.ع. كاسحاً أمامه غازات العادم ، عندئذ يقفل صمام العادم ، وتبقى بعض الغازات التى لا يمكن التخلص منها .

ملحوظة : الضغط المتوسط الفعال حوالى ٦ : ٨ بار .

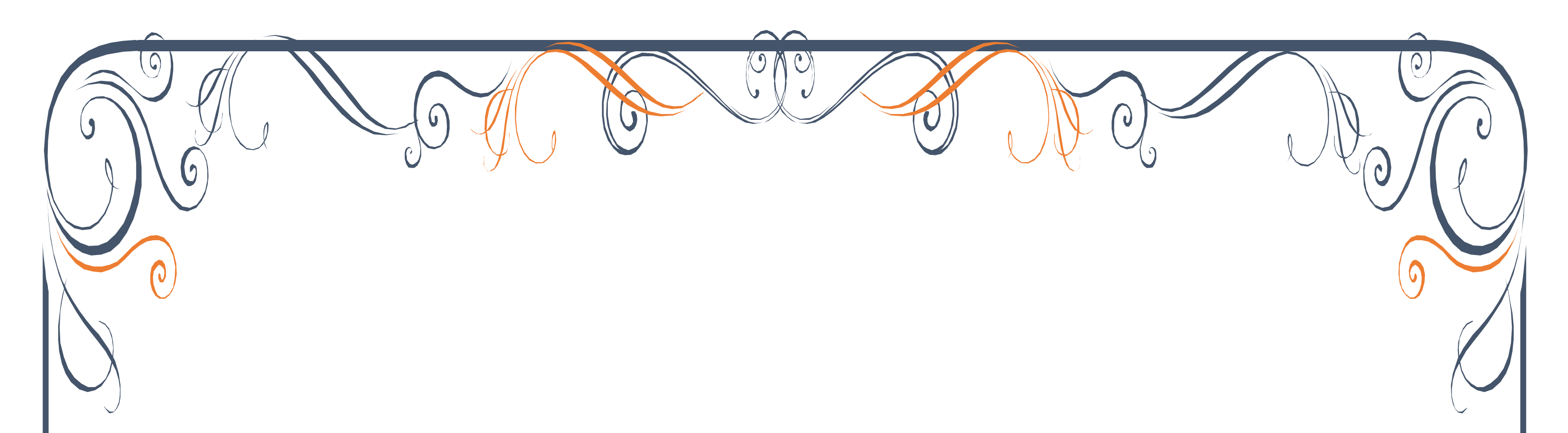
للحصول على أحسن أداء يجب تنظيف الاسطوانة من غازات العادم تماماً وشحنها بالهواء الطازج . فى حالة المحركات الرباعية الأشواط يسهل ذلك بعمل التوقيت المضبوط لصمامات الحر والعادم أى تبدأ صمامات الحر فى الفتح قبل نقاط النهايات لتكون مفتوحة تماماً عند وصول المكبس إليها ، وتقفل متأخرة لضمان دخول أكبر كمية من الهواء نتيجة لسرعة وكمية الحركة المكتسبة بتأثير اندفاع المكبس ـو كذلك صمام العادم يفتح قبل وصول المكبس إلى ن.م.س. ويبقى مفتوحاً لفترة بعد اتمام المكبس مشواره لأعلى ، وذلك لأن العادم يستمر فى الخروج بتأثير كمية الحركة المكتسبة .

دائرة التوقيت : Timing-diagram

شكل (١ ــ ١٧) يمثل دورة التوقيت لمحرك غير مشحون جبرياً . الزوايا الموضحة على الرسم هى على سبيل المثال ولكنها تختلف تماماً من محرك لآخر ، وهى تعتمد على السرعة المصمم عليها المحرك وعلى نوع الوقود المستخدم .



شكل (١ ــ ١٧)



ويلاحظ من الشكل أن :

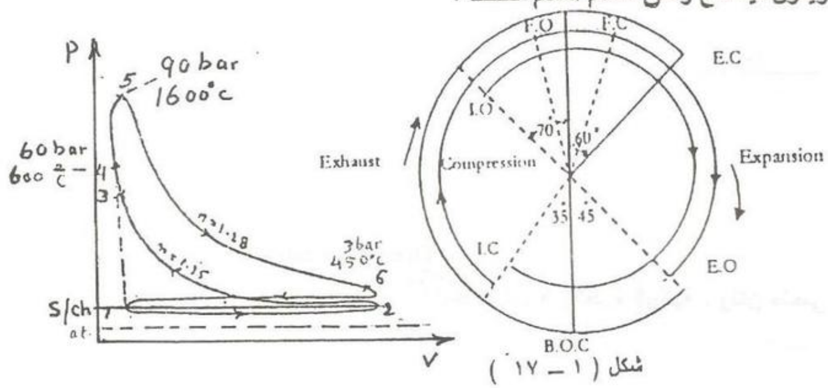
ــ فترة فتح صمام الحر 2 – 1 . ــ فترة فتح صمام العادم 6 – 1 .

ــ فترة حقن الوقود 4 – 3 .

ــ بدء الحركة .St بعد T.D.C وقبل فتح صمام العادم .

ثانياً : مشحون جبرياً :

ويكون فيه فتح وغلق صمام العادم مختلف .



شكل (١ ــ ١٧)

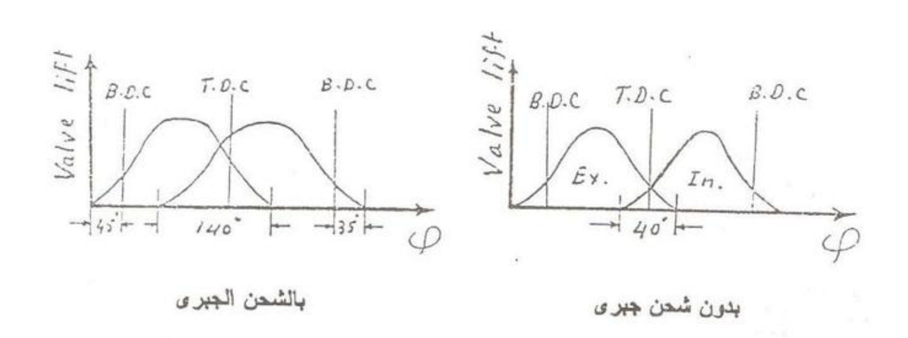
يلاحظ أن فتح صمام السحب وصمام العادم مبكراً لزيادة عملية التشحين ورفع كفـاءة الشاحن التوربينى ، والضغط المتوسط الفعال إلى ١٥ بار .

فترة التراكب بين صمامى الحر والعادم Over-lap period (شكل ١ ــ ١٨)

دائماً ما تتواجد فترة يكون فيها صمامى العادم والحر مفتوحين وتسمى هـذه الفتـرة بالتراكب بين الصمامين ، وهذه الفترة هامة لضمان جودة تنظيف غرفـة الاحتـراق مـن الغازات المتبقية حيث أن غازات العادم وهى مندفعة إلى الخارج تعمل على سـحب هـواء الشحنة إلى الداخل وهذه الفترة من ١٠ ° : ٤٠ ° فى المحركات غير مشحونة جبرياً ــ أما فى حالة المحركات المشحونة جبرياً فتصل هذه الفترة إلى حوالى ١٤٠° ، وتتحـدد فتـرة التراكب عملياً لكل تصميم للتوصل إلى أعلى قدرة وذلك عند السرعات الكاملة .



(شكل ١ ــ ١٨) التراكب بين صمامى الحر والعادم

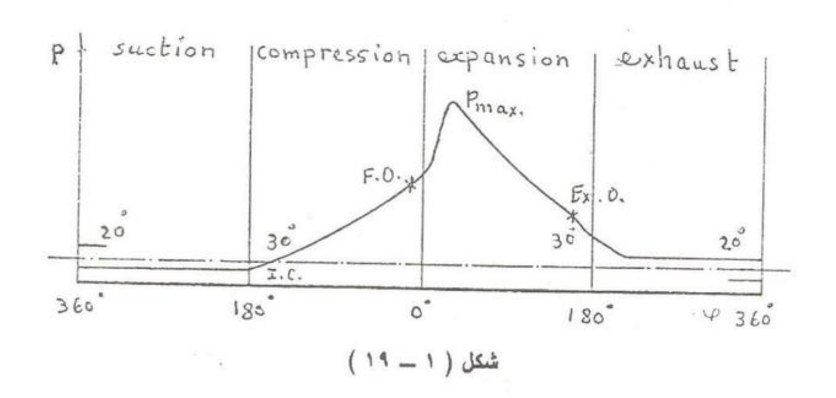


بالشحن الجبرى

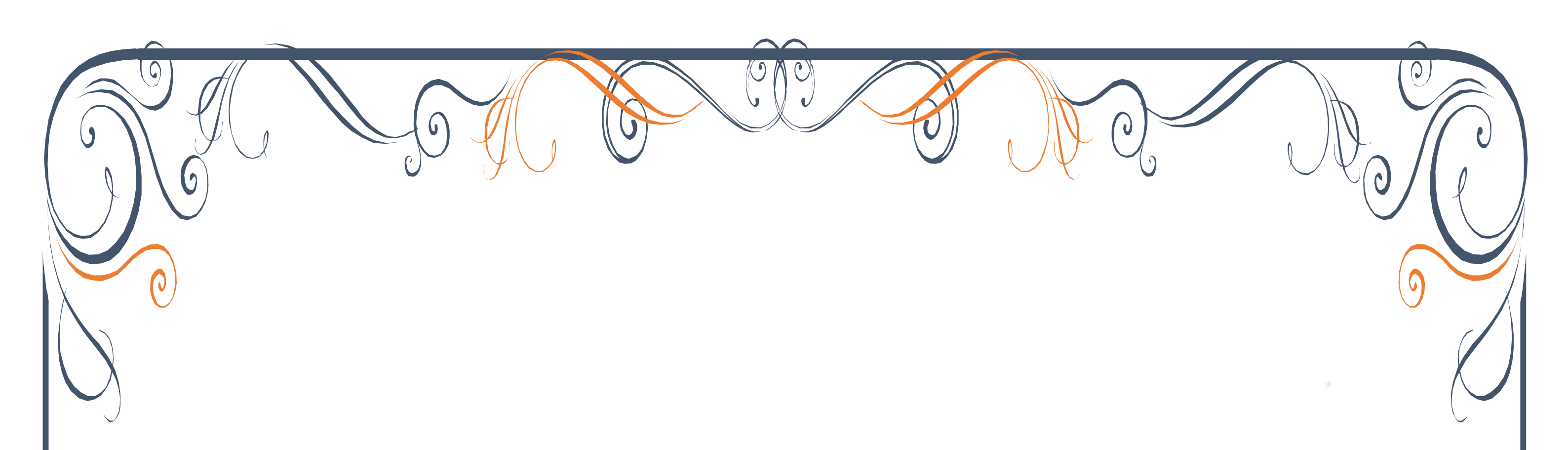
بدون شحن جبرى

المنحنى المفرود : Draw card diagram

منحنى الضغط والحجم يفيد فى حساب الضغط المتوسط والقدرة البيانية ، ولكن منحنى الضغط مع زاوية عمود المرفق يفيد فى دراسة عملية الاحتراق ، ويكون كما يتضح مــن الشكل (١ ــ ١٩) .



شكل (١ ــ ١٩)



١ ــ ٦ ــ ٣ : دورة الديزل الثنائى الأشواط الحقيقية

Compression ignition 2 stroke cycle

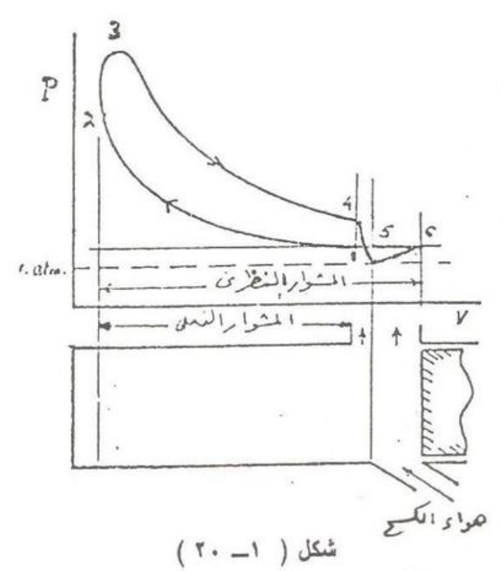
فى هذ المحرك تتم الدورة فى لفة واحدة من عمود المرفق ، وأن الاسطوانة بها فتحات للحر والعادم . وبالنظر إلى الشكل (١ ــ ٢٠) يتضح أن الدورة تتكون من :

أولاً : حركة المكبس للداخل : ويتم فيها غلق بوابات الكسح والعادم

الانضغاط : Compression

2 – 1 يتحرك المكبس للداخل ويتم انضغاط الهواء السابق دخوله للاسطوانة إلـــى حوالى ٤٠ بار

ودرجة حرارته حوالى ٦٠٠° م (بوابات الحر والعادم مقفولة)

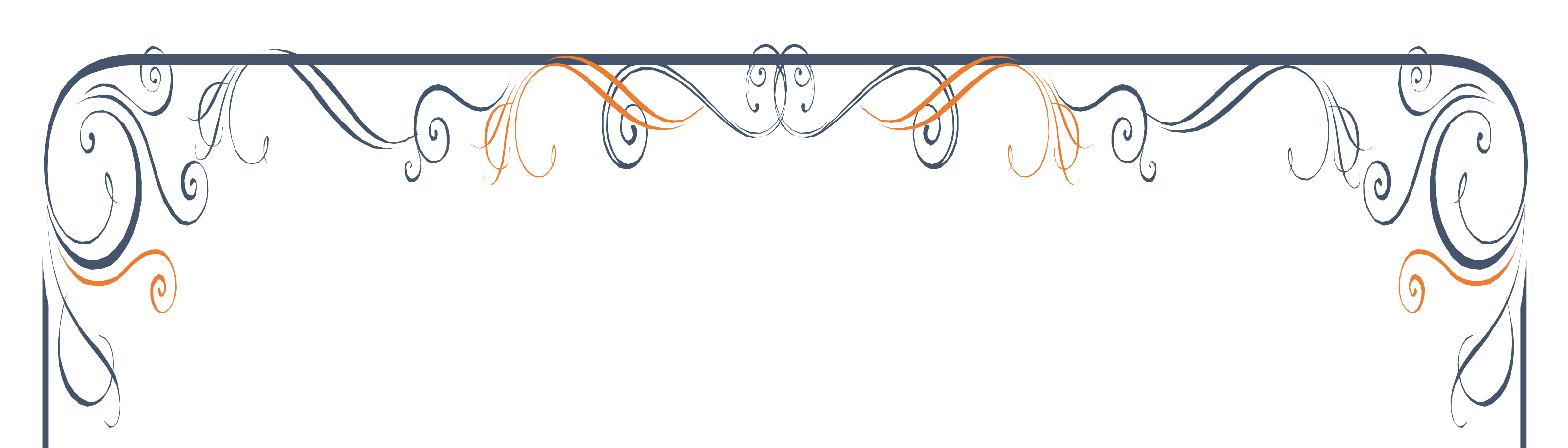


شكل (١ ــ ٢٠)

ثانياً : حركة المكبس للخارج :

أ ــ الاحتراق والتمدد Firing and expansion

4 – 2 عند حقن الوقود يتم اشتعاله ويرتفع الضغط إلى حوالى ٦٠ بار ودرجة حرارة حوالى ١٦٠٠° م ، يؤثر الضغط المتولد على المكبس ويدفعه إلى أسفل .



ب ـ خروج العادم : Exhausting

عند النقطة (4) تفتح بوابات العادم ويندفع العادم إلى خارج الاسطوانة ويكون ضغطه حوالى ٧ بار ودرجة حرارته حوالى ٣٥٠° م ، وتعتبر هـذه المرحلـة جزءاً من مشوار المكبس للخارج .

جـ ـ الكسح والتشحين : Scavenge and recharging

يستمر المكبس فى حركته للخارج إلى أن يصل إلى النقطة (5) حيث يكشف بوابات الحر ويندفع الهواء الطازج بضغط أعلى من ضغط العـادم إلـى داخـل الاسطوانه حيث يكسح الغازات المتبقية ، ويعاد ملء الاسطوانة بالهواء الطازج وتستمر هذه العملية إلى إعادة غلق فتحات الحر والعادم .

ويلاحظ مما سبق أن الضغط داخل الاسطوانه عند النقطة (٥) يجب أن يكون أقل من ضغط الشحن وإلا حدث اندفاع لغازات العادم داخل حيز الشحن مما يقلل من درجة نقائهـا بسبب تلوثها .

ويجب أن يكون ضغط الغازات داخل الاسطوانة أكبر من الضغط الجوى لضمان خـروج غازات العادم ، وأقل من ضغط الشحنة كى تندفع إلى الاسطوانة ، لذا يلزم استخدام وسيلة لرفع ضغط هواء التشحين عن الضغط الجوى بقليل،ولذلك فيعتبر المحرك ثنائى الأشـواط محركاً مشحوناً ، ويستخدم لذلك طلمبة الكسح Blower .

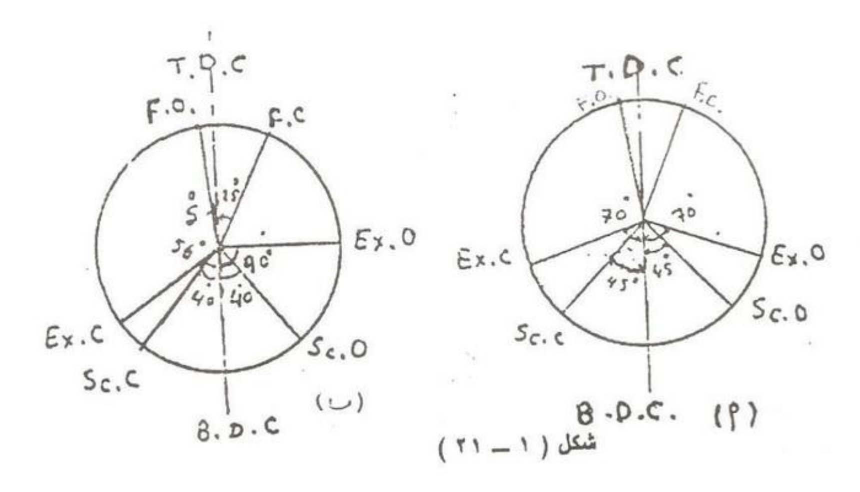
دائرة التوقيت : Timing diagram

شكل (١ ــ ٢١) يمثل دوائر التوقيت لمحركات ثنائية متنوعة :

أ ــ لمحرك سولز RD كسح دائرى ويلاحظ فيه التماثل لفتح وغلق بوابـات العـادم والحر .

ب ــ لمحرك B&W كسح طولى ويكون فيه توقيت فتح صمام العادم غير مطابق لغلقه

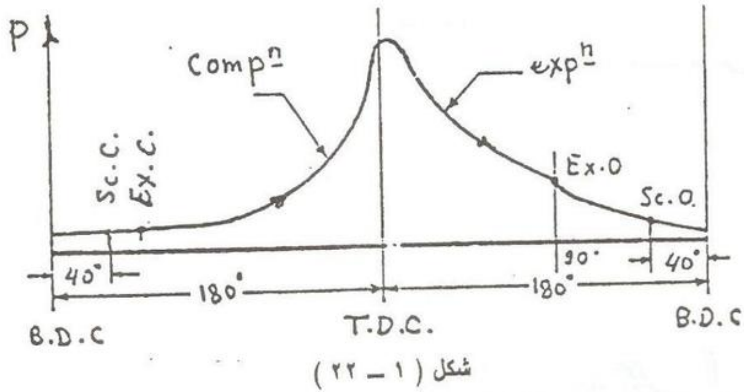




شكل (١ — ٢١)

المنحنى المفرود : Draw-card diagram

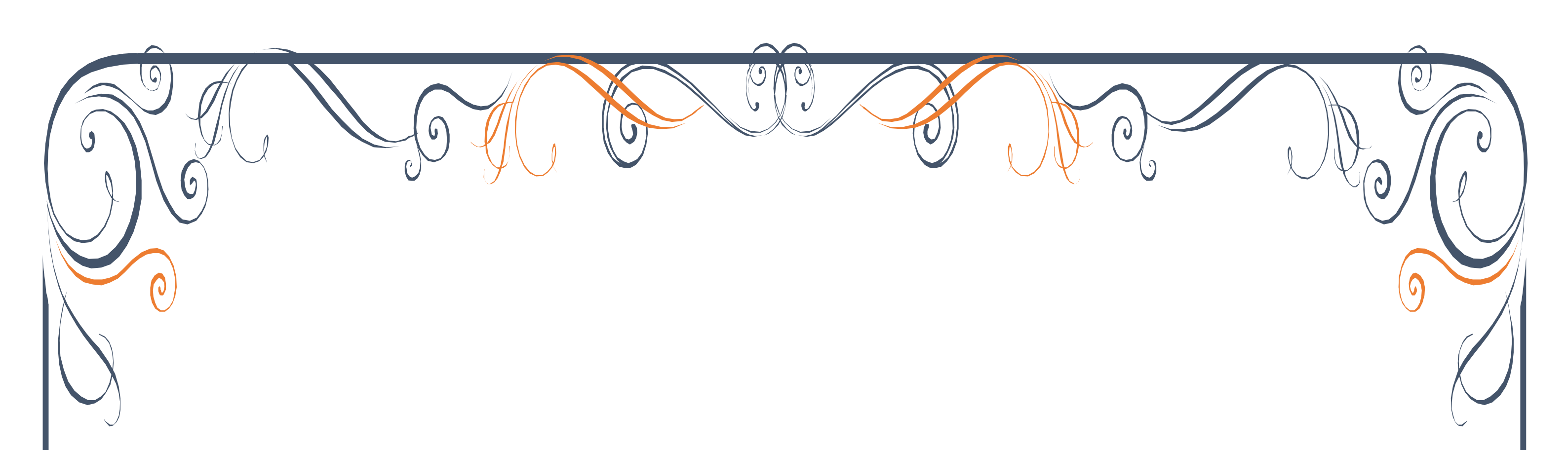
شكل (١ — ٢٢) يوضح الكرت المفرود للمحرك B&W ومزود بصمام عادم .



شكل (١ — ٢٢)

١ — ٦ — ٤ الكسح Scavenge

إذا لزم الحصول على أحسن أداء وأعلى كفاءة من المحرك ، كان من الضرورى تنظيف الاسطوانة تماماً من الغازات المتبقية وإعادة شحنها بالهواء الطازج ،و يسهل الأمر فى حالة المحركات الرباعية الأشواط نظراً لوجود شوط كامل الخروج والعادم وشوط آخر لدخول الهواء . ولكن تختلف الحالة فى حالة المحركات ثنائية الأشواط حيث أن الوقت



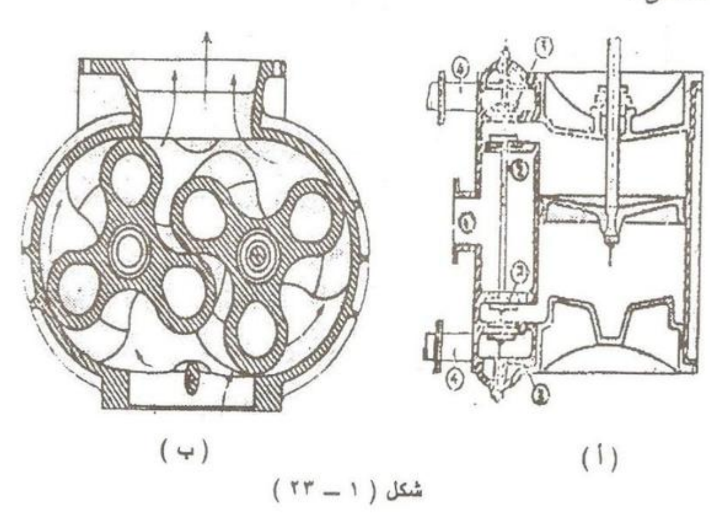
المسموح به للتخلص من الغازات المتبقية وإعادة التشحين بالهواء الطازج يقل كثيراً حيث أنه لا يزيد عن ١٤٠ْ ، ولذا كان من الضرورى استخدام وسيلة لرفع ضغط هواء الشاحن إلى حوالى ٠,٢ بار قبل ظهور فكرة الشحن الجبرى .

هواء الكسح : Scavenge air

هواء بضغط أعلى من الجوى (حوالى ٠,٢ بار) يقوم بتنظيف الاسطوانة من بقايا غازات العادم وإعادة ملئها بالهواء الطازج للدورة القادمة .

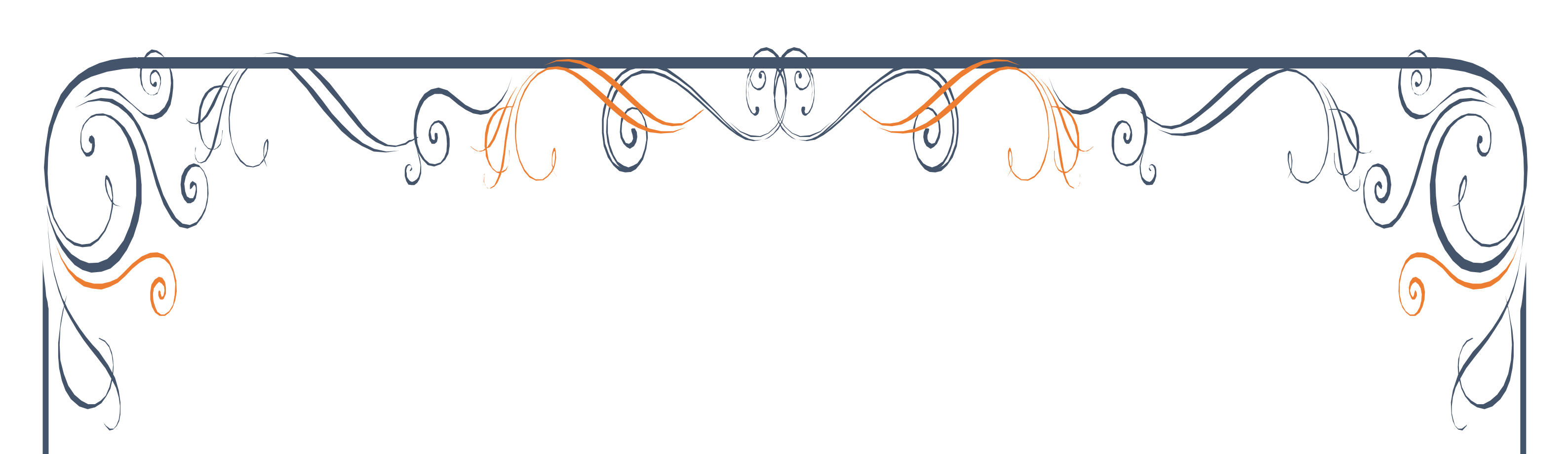
طلمبات الكسح :

وهى إما ترددية أو دورانية الحركة . وشكل (١ ـ ٢٣) يمثل نوعين من هذه الطلمبات أحدهما ترددى (١ ـ ٢٣ أ) وتتكون من الأجزاء الموضحة على الرسم . أما النوع الثانى (١ ـ ٢٣ ب) فهو عبارة عن مروحتين ممكن إدارتها من عمود المرفق بواسطة مجموعة تروس خارج جسم الطلمبة ، والمروحتان محمولتان على عمودين متوازيين ويدوران فى اتجاهين مختلفين ، تتداخل أحدهما فى الأخرى وتحتفظ بالخلوص بينهما ، ولكل من المروحتين نتوئين أو ثلاث ، عندما تدوران يدخل الهواء من فتحة السحب بحيث ينحبس فى الحيز بين المروحة والغلاف ثم يحمل جهة الطرد حيث تخرج بضغط أعلى .



(ب) (أ)

شكل (١ ـ ٢٣)



η_v – Volumetric efficiency الكفاءة الحجمية

تعبر عن درجة امتلاء الاسطوانة بالشحنة الطازجة ، وكلما زاد مقدار هذه الشحنة كلما زادت القدرة التى تنتجها الاسطوانة ، (وهى مقرونة عادة بالمحركات الرباعية الأشواط) ، وهى تساوى النسبة بين كتلة شحنة الهواء التى دخلت فعلاً الاسطوانة عند بداية الانضغاط وكتلة الشحنة التى تملأ حجم المشوار عند الضغط ودرجة الحرارة القياسيتين .

η_{Sc} – Scavenge efficiency كفاءة الكسح

هى النسبة بين كتلة شحنة الهواء الطازج التى تم دخولها الاسطوانة عند بداية الانضغاط وكتلة الخليط (الهواء والغازات المتبقية) بالاسطوانة.وهى تعبر عن درجة نظافة الاسطوانة فى المحركات الثنائية الأشواط .

$$\eta_{Sc} = \frac{W_a}{W_a + W_c}$$

حيث أن Wa كتلة الهواء الطازج التى تم دخولها الاسطوانة .

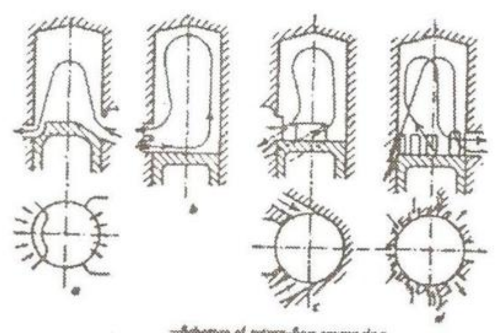
Wc كتلة الغازات المتبقية بالاسطوانة .

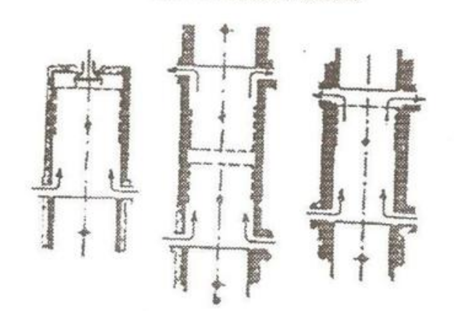
ويلاحظ أن كلاً من الكفاءة الحجمية وكفاءة الكسح تقل بزيادة سرعة المحرك ودرجة حرارة الهواء . وللحصول على أعلى كفاءة حرارية يجب تنظيف الاسطوانة تماماً من بقايا غازات الاحتراق ، حيث أن الكسح الغير جيد قد يسبب : زيادة معدل استهلاك الوقود والاجهادات الحرارية على الأسطح المحيطة بها .

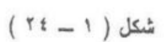
طرق الكسح : Scavenge methods

توجد طرق عديدة للكسح ، ويوضح الشكل (١ – ٢٤) معظم هذه الطرق ولكن يمكن اختصارها فى الآتى : شكل (١ ــ ٢٥ أ، ب، جـ)

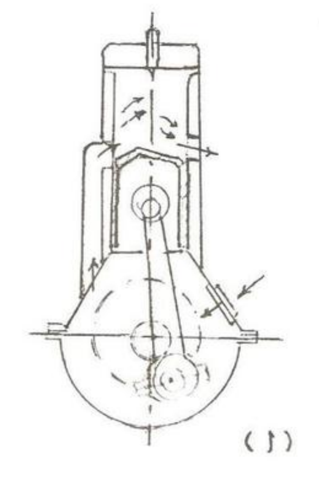








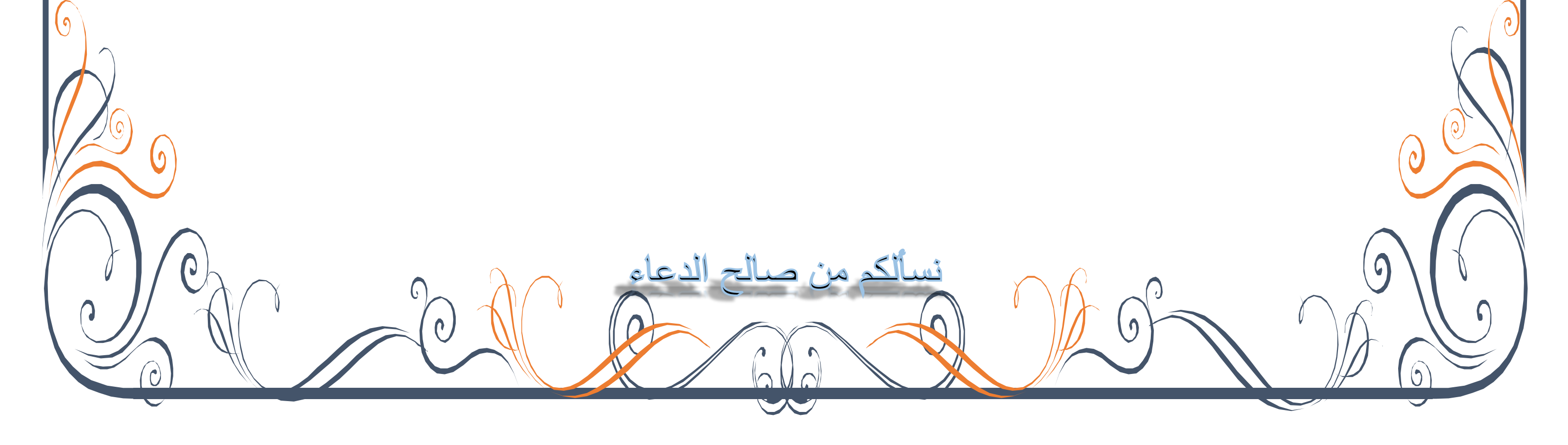
شكل (١ ــ ٢٤)

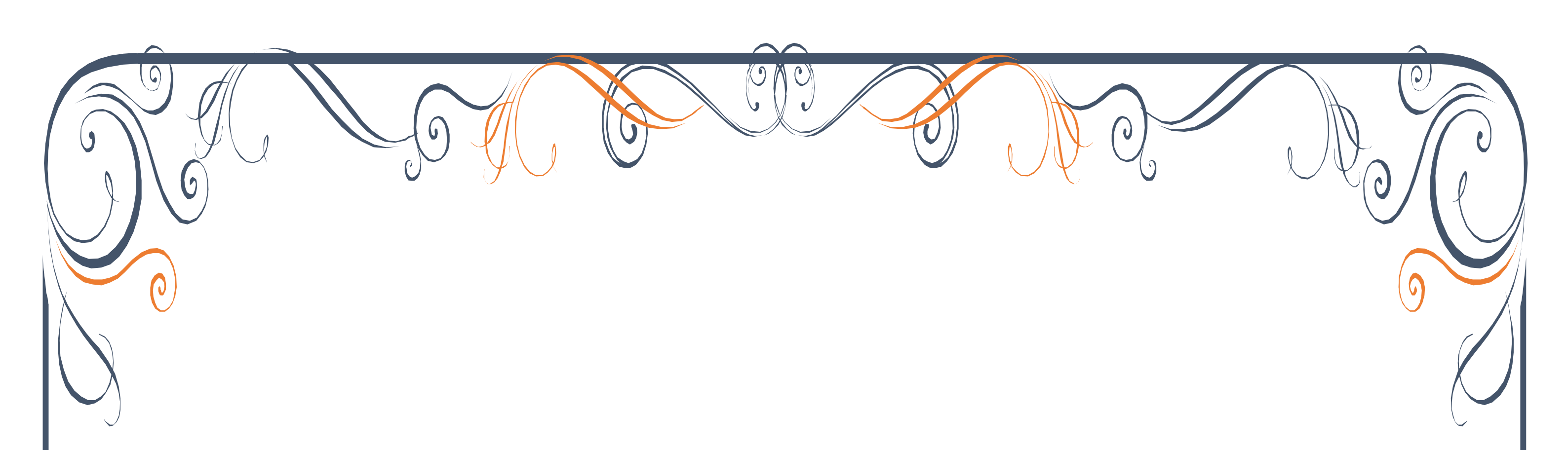


(أ)

أ ــ الكسح العرضى : Cross scavenge

توجد فتحات الكسح والعادم أسفل القميص وهى متقابلة ، ويستخدم هــذا النــوع فــى المحركــات الصغيرة حيث يكون بدن المحرك وغلافه مقفــلان تماماً ، ويعمل السطح الأسفل للمكــبس كضــاغط للشحنة ، يسحبها من الخارج مارة بصمام يفــتح حينما يتولد تفريغ بحركة المكبس إلى أعلى ، ثــم يغلق الصمام وتضغط الشحنة عندما يتحرك المكبس

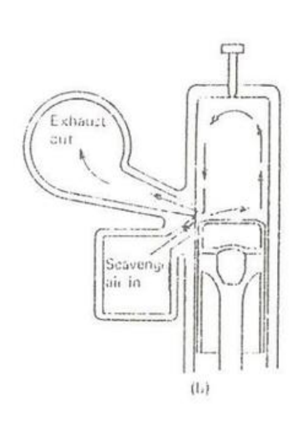




إلى أسفل وتندفع الشـحنة المضغوطة إلى داخل الاسطوانة عندما تفتح بوابات الكسـح ، ويتضح أن نسبة الفقد من الشحنة الطازجة كبيرة ، علاوة على عدم نظافة الاسطوانة تماماً حيث يبقىجزء من الغازات فى أركان الاسطوانة وهذا لا يستخدم إلا فى المحركات الصغيرة.

ب ـ الكسح الدائرى Loop-scavenge

وفى هذا النوع تكون فتحات الكسـح والعـادم فـوق بعضها أو على نفس المحيط . يدخل هواء الكسـح مـن فتحات سفلية فى القميص ويتجه إلى أعلى حيث يطـرد أمامه الغازات إلى فتحات العادم . وهذا النوع يعتبر أفضل من النوع السابق من ناحية نظافة الاسطوانة وتقليل الفقد وبتطوير تصميم الفتحات أمكن زياد جودة الكسح . ويمتاز هذا النوع بالتخلص من الصمامات أى ببساطة التصـنيع والصيانة . ويسمح بتشكيل أنسب غرفة احتراق للحصول على أعلى كفـاءة احتراق ، وهـو يسـتخدم فـى محركات Sulzer, .

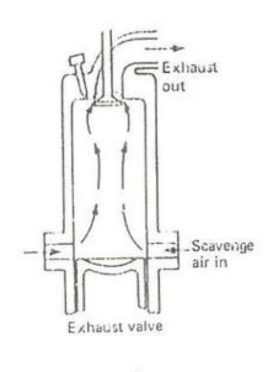


(ب)

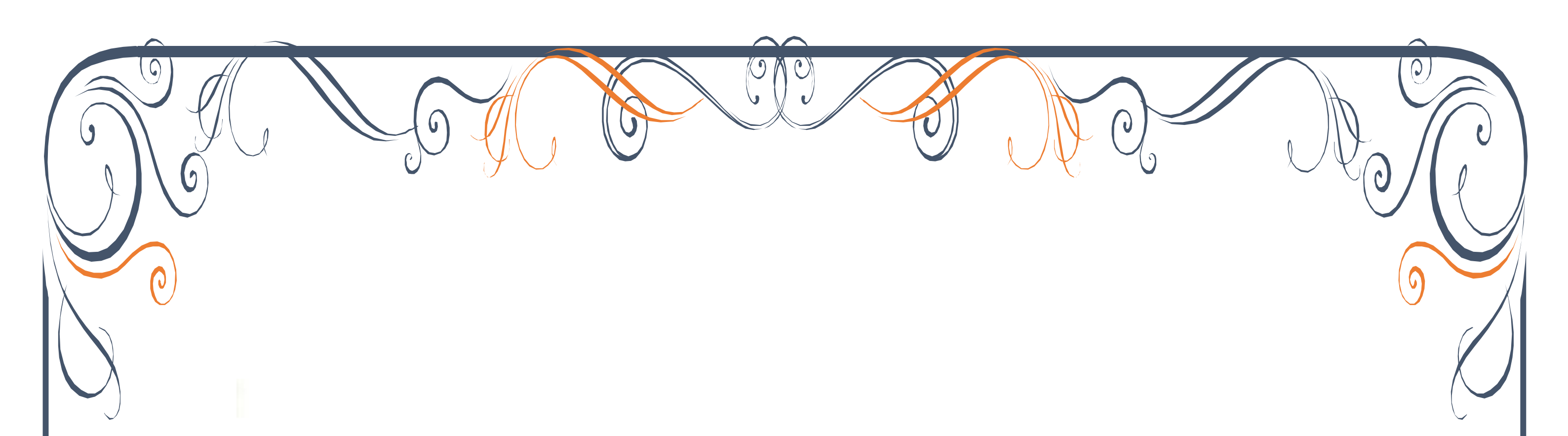
شكل (١ ــ ٢٥)

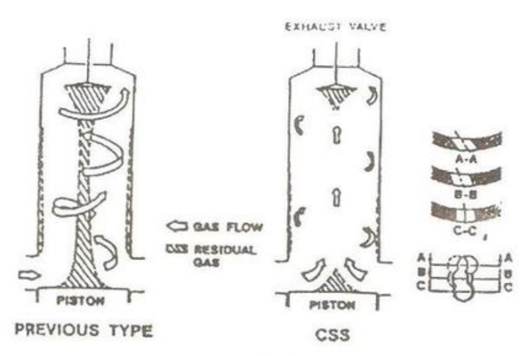
جـ ــ الكسح الطولى : Uniflow-scavenge

يدخل هواء الكسح من فتحات بأسفل القميص ويخرج ألعادم من صمامات علوية كما فـى محركـات Stroke, B&W أو من فتحات علوية كما فى محركات Doxford ومن الواضح أن هذا النوع يمتاز بأعلى كفاءة كسح ، كما أنه بالتصميم الجيد لفتحات الكسح أمكن جعل شـحنة الهواء تسير فى حركة حلزونية مما تساعد علـى جـودة الاحتراق وتنظيف الاسطوانة . وقد تم ذلك فى المحركـات الثنائية " ميتسـوبيشى " وتم الحصول على أعلى كفـاءة كسح كما هو واضح فى شكل (١ ــ ٢٦) بإتباع طريقـة Controlled swirl scavenge .

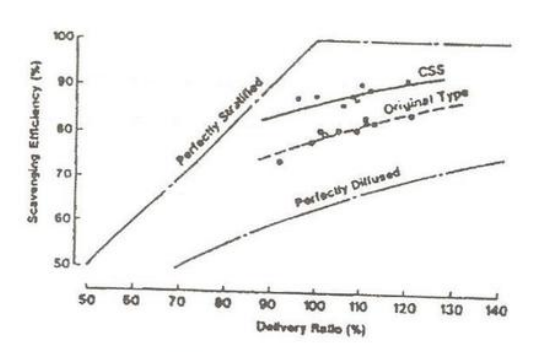


(جـ)





GAS FLOW IN CYLINDER



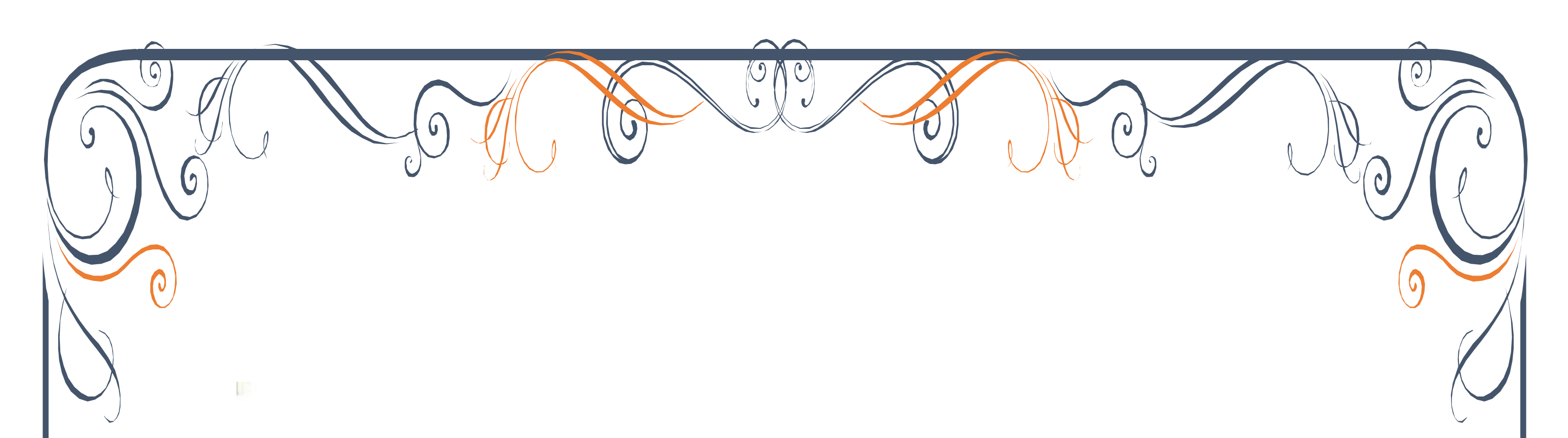
MEASUREMENT RESULTS OF SCAVENGING EFFICIENCY

شكل (١ ــ ٢٦)

تبادل غازات العادم بهواء الكسح Gas exchange process

عملية تبادل غازات العادم والهواء الطازج يمكن تقسيمها إلى ثلاث خطوات وهى : تصريف الضغط ، الكسح ، وزيادة الشحن .

أثناء فترة تصريف الضغط بنزول المكبس تطرد غازات العادم بسرعة ، وذلك بمراعاة مساحة فتحات أو صمامات العادم ، فى نهاية هذه الخطوة تقريباً تفتح بوابات لهواء ويكون ضغطه أعلى من ضغط العادم وذلك لإتمام عملية الكسح بكفاءة عالية



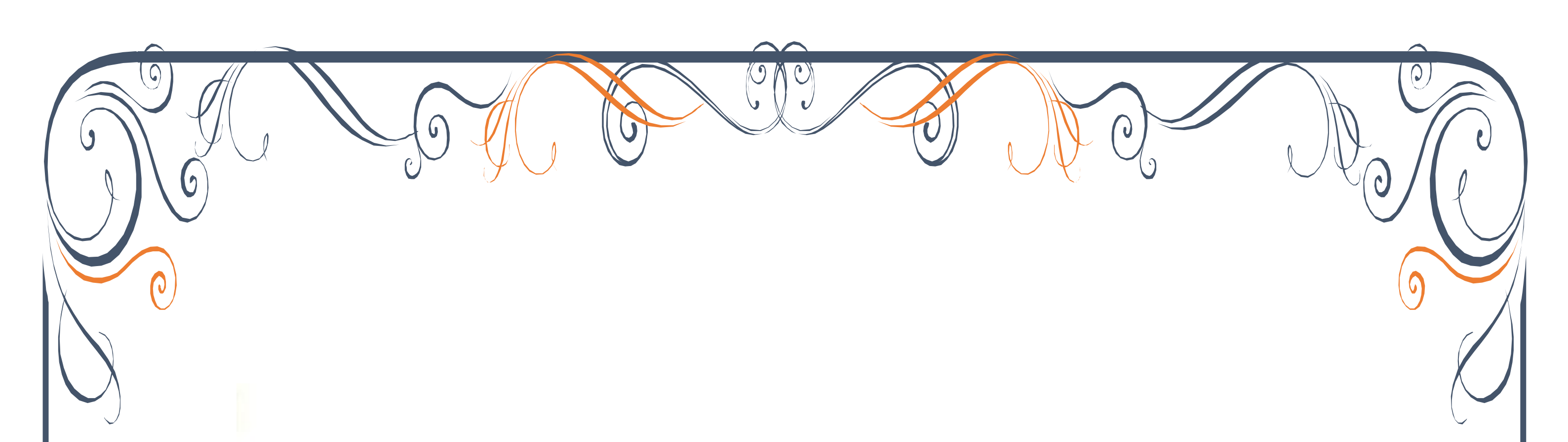
ـ عند صعود المكبس وغلق بوابات الهواء يجب مراعاة قفل بوابات العادم بسرعة لمنع فقد هواء الشحن وحتى تكون كثافة هواء الشحن عند بداية الانضغاط عالية .

ويجب أن يكون معلوماً من انه بالرغم من فقد بعض هواء الشحن أثناء عملية الكسح إلا أن الكمية المتبقية تكون كافية تماماً للاحتراق الكامل .

فى المحركات المشحونة جبرياً يكون فتح العادم مبكراً وذلك لتهيئة الفرصة لنزول الضغط قبل فتح بوابات الهواء ، هذا بالإضافة إلى الاستفادة بطاقة الدفع العالية لغازات العادم والتى تحسن من كفاءة التربينة .

١ ـ ٦ ـ ٥ مقارنة بين الكسح الدائرى والطولى .

الكسح الدائرى Loop-Scavenge	
المزايا	العيوب
١. عدم وجود الصمامات يلغى عمليات الصيانة المستمرة المطلوبة لها .	١. قرب بوابات الهواء لبوابات العادم يسبب اجهادات حرارية عالية فى هذه المنطقة .
٢. يتم توفير القدرة المستهلكة لتشغيل الصمامات .	٢. تتعرض تيجان المكابس لغازات العادم ويليها الهواء البارد فيعمل على زيادة البرى بسطح المكابس .
٣. عدم وجود الصمامات يسهل عملية عكس الحركة وتصنيع رأس الأسطوانة .	٣. استهلاك أعلى لزيت التزييت حيث أن ارتفاع درجة حرارة العادم تعمل على حرق بعض زيت تزييت الاسطوانة .
٤. عدم وجود صمام العادم فى منتصف رأس الأسطوانة،فيه يتم وضع الحاقن فيكون احتراق الوقود أفضل .	٤. عادة ما يكون جذع المكبس طويل ليتحكم فى غلق البوابات لمنع فقد هواء الكسح .



المزايا	الكسح الطولى Uniflow-scavenge العيوب
١. كفاءة الكسح أعلى .	١. تحتاج الصمامات إلى صيانة مستمرة . تتطلب مجهود كبير وتزيد من التكلفة.
٢. يسهل تصنيع القميص والاحكام لمياة التبريد .	٢. تشغيل الصمامات يزيد من الفقد الميكانيكى .
٣. سهولة تزييت الاسطوانات مع تقليل معدل استهلاك الزيت .	٣. وجود الصمامات يصعب من عملية عكس الحركة .
٤. تحكم أفضل فى خروج العادم وتقليل كمية هواء الكسح الضائع .	٤. وجود صمامات العادم فى منتصف رأس الاسطوانة يلغى وجود الحاقن فى المنتصف وما له من مزايا لعملية الاحتراق .
٥. عدم الاحتياج لجذع طويل للمكبس .	

أسـئلة

١ - عرف القدرة، الطاقة. واذكر الوحدات المستخدمة لكل منها.

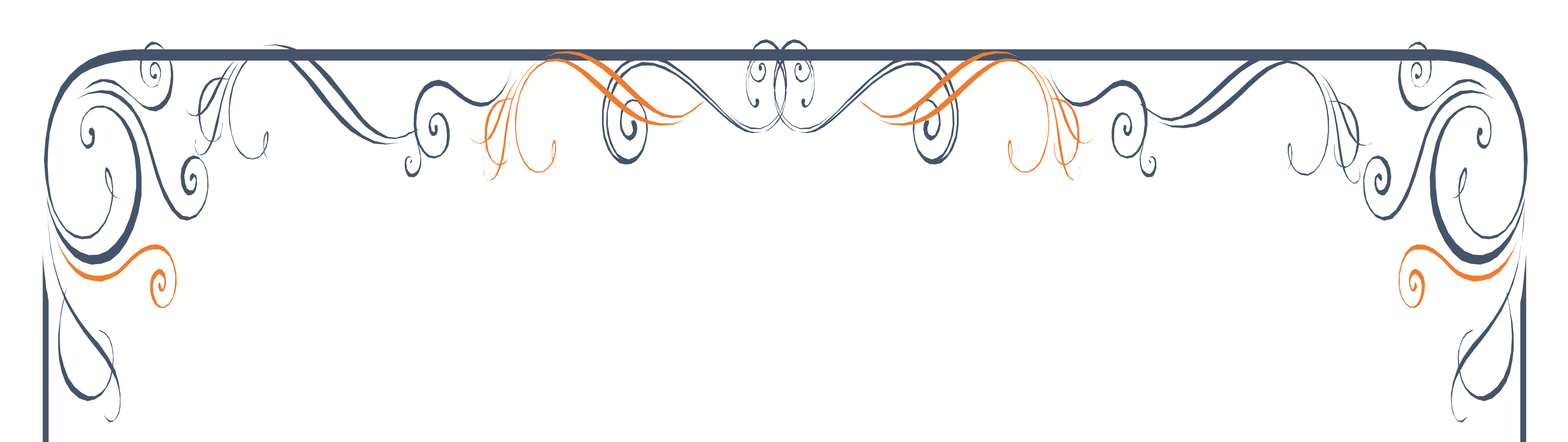
٢ - عرف السرعة المتوسطة للمكبس، ولماذا تعتبر من الدلالات الرئيسية للمحرك.

٣ - عرف الكفاءة الحرارية. الكفاءة الحجمية، كفاءة الكسح.

٤ - اشرح مع الرسم دورة ديزل الحقيقية الرباعية الأشواط، ما هي قيم الضغوط ودرجات الحرارة عند النقط الرئيسية. أرسم دائرة توقيت الصمامات.

٥ - قارن بين الطرق المختلفة للكسح في المحركات الثنائية الأشواط، واذكر أنواع المحركات التي تعمل علي كل نوع.

٦ - أرسم دائرة التوقيت والكارت البياني لمحرك ديزل ثنائي واذكر قيم الضغوط ودرجات الحرارة عند النقطة الأساسية...



الباب الثانى

الأجزاء الرئيسية للمحركات الديزل البحرية
Marine Diesel Engine Main Parts

يحول المحرك الديزل الطاقة الحرارية الموجودة فى الوقود إلى طاقة حركة . ويحدث ذلك بحقن الوقود تحت ضغط مرتفع فى الاسطوانة حيث يجد الهــواء المضغوط (مسبقاً) بدرجة حرارة مرتفعة ، فيشتعل وتنتج الغازات ذات الضغط المرتفع فتدفع المكــبس بقــوة كبيرة تنتقل إلى ذراع التوصيل المتصل بعمود المرفق ، وقد تصل إلى مئات الأطنــان فــى المحركات الكبيرة ، وكذلك تظهر قوة جانبية عمودية تصل إلى عشرات الأطنان ، ومن ثم يدفع المكبس ذراع التوصيل المتصل بعمود المرفق فيدور حيث يعطى الحركــة الدورانيــة المطلوبة

وشكل (٢ ــ ١) يوضح الأجزاء الأساسية لمحرك ديزل رأسى ربــاعى الأشــواط ويتكون من :

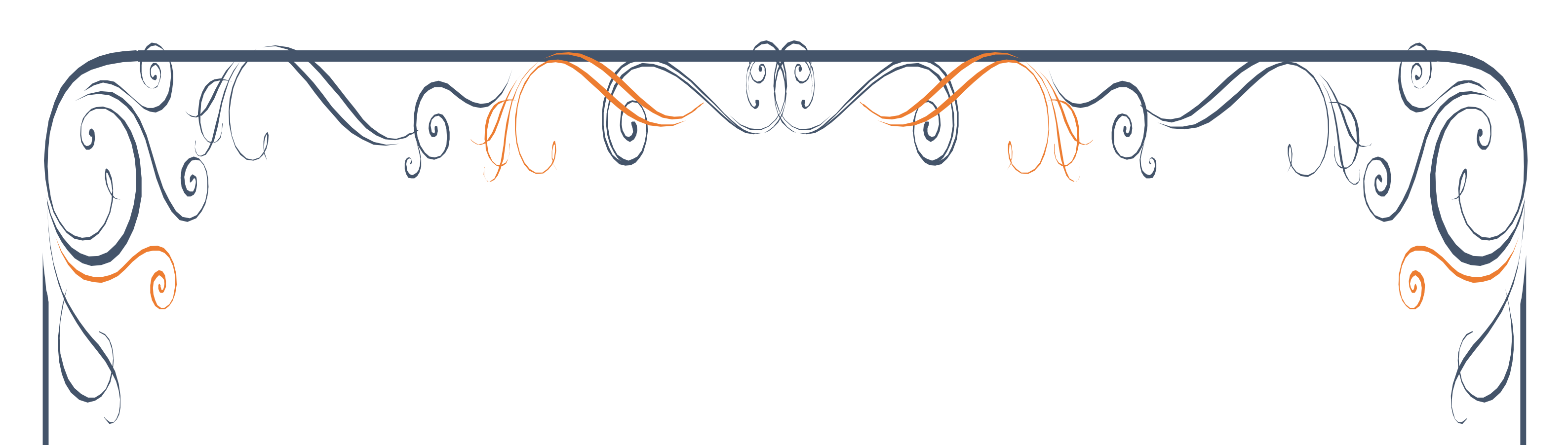
ــ الأجزاء الثابتة : الفرش ــ الهيكل ــ جسم الاسطوانه ــ رأس الأسطوانه .

ــ الأجزاء المتحركة : المكبس ــ ذراع التوصيل ــ عمود المرفق ــ عمود الكامات ــ الصمامات .

ونظراً لكبر القوى المؤثرة فإن هذه الأجزاء تتعرض لاجهادات ميكانيكيــة عاليــة ، علاوة على الاجهادات الحرارية الناتجة عن الاحتراق .

ويمكن تقسيم الاجهادات الميكانيكية إلى :

ــ إجهاد الشد Tensile stress .
ــ إجهاد الضغط Compression stress.
ــ إجهاد القص Sheer stress.
ــ إجهاد التواء Torsion stress.
ــ إجهاد الثنى Bending stress.
ــ إجهاد الصدمات Shock stress .
ــ إجهاد الكلال Fatigue stress .



ويمكن توضيح الأداء كالآتي :

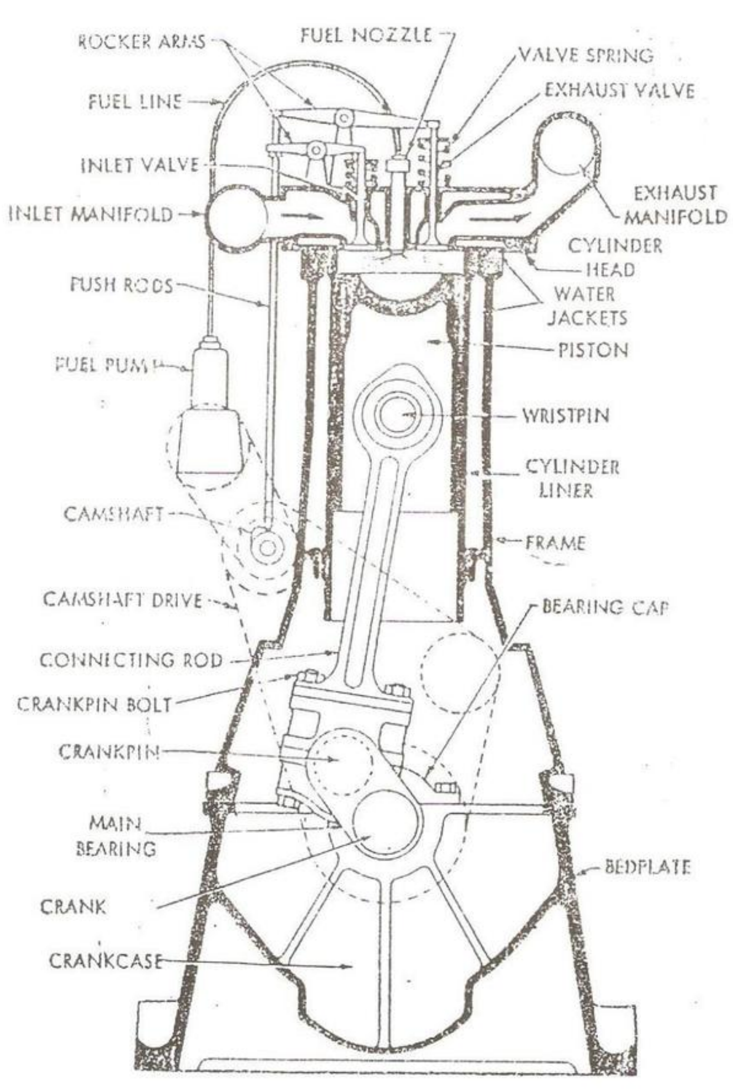
يتحرك المكبس داخل الأسطوانه المغطاه بالرأس Cylinder-head والذي يحتوي علي صمامي الحر والعادم ويثبت في منتصفه حاقن الوقود Fuel-valve .

تتصل النهاية العلويه لذراع التوصيل Connecting rod بالمكبس piston عن طريق المرتكز wrist-pin ، أما النهاية السفليه big-end فتتصل ببنز عمود المرفق Crank-pin ، وعليه فإن الحركه الترددية للمكبس تتحول إلي حركه دورانيه لعمود المرفق Crank-shaft.

وتنقل الحركه الدورانيه من عمود المرفق إلي عمود الكامات Cam - shaft عن طريق الكتينه Chain ، وبواسطتها تنقل الحركه إلي أعمدة الدفع Push - rods ، حيث تقوم بتشغيل الأذرع الهزازه rocker-arms لفتح صمامات الحر والعادم . ويكون عمودالكامات متزامن ليفتح الصمامات عند التوقيت المحدد بالدوره الحراريه ، كما توجد كتينه أخري لتشغيل مضخات الوقود Fuel Pumps .

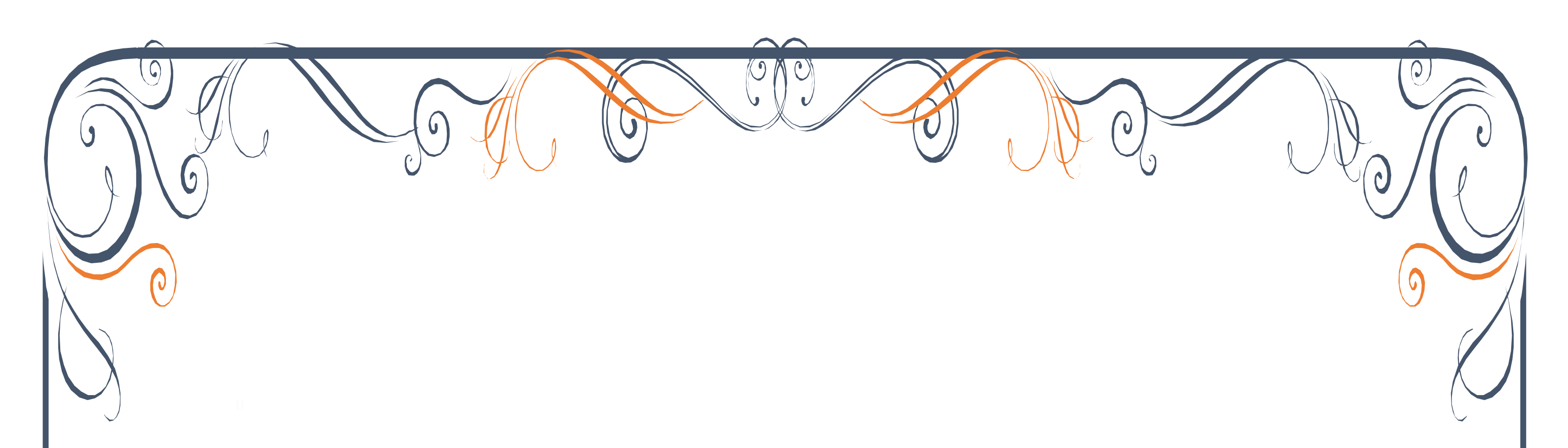
يحمل عمود المرفق Crank-Shaft علي المحامل الرئيسيه main-bearings والمثبتة علي عوارض الفرش bed-plate داخل حيز صندوق المرفق Crank-case .





Parts of a four-cycle diesel engine.

شكل (٢ ــ ١)



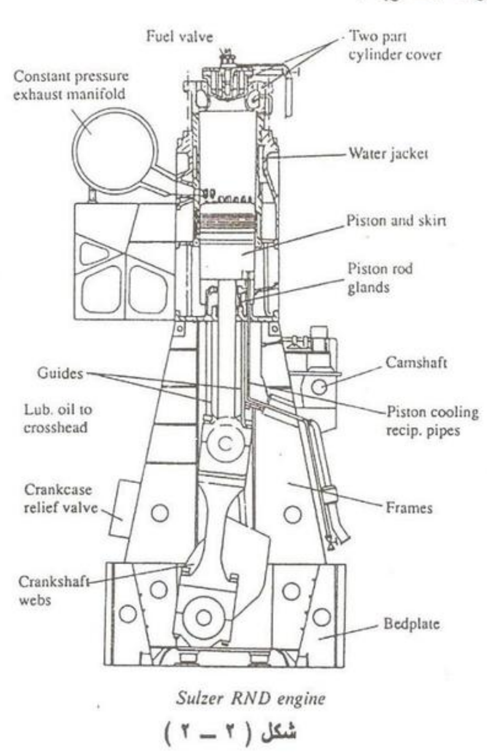
(٢ـ١) بعض أنواع المحركات الديزل البحرية

Main diesel engine types

٢ ــ ١ ــ ١ : محرك ثنائى كبير ذات الكسح الدائرى

A large single acting 2-stroke diesel engine

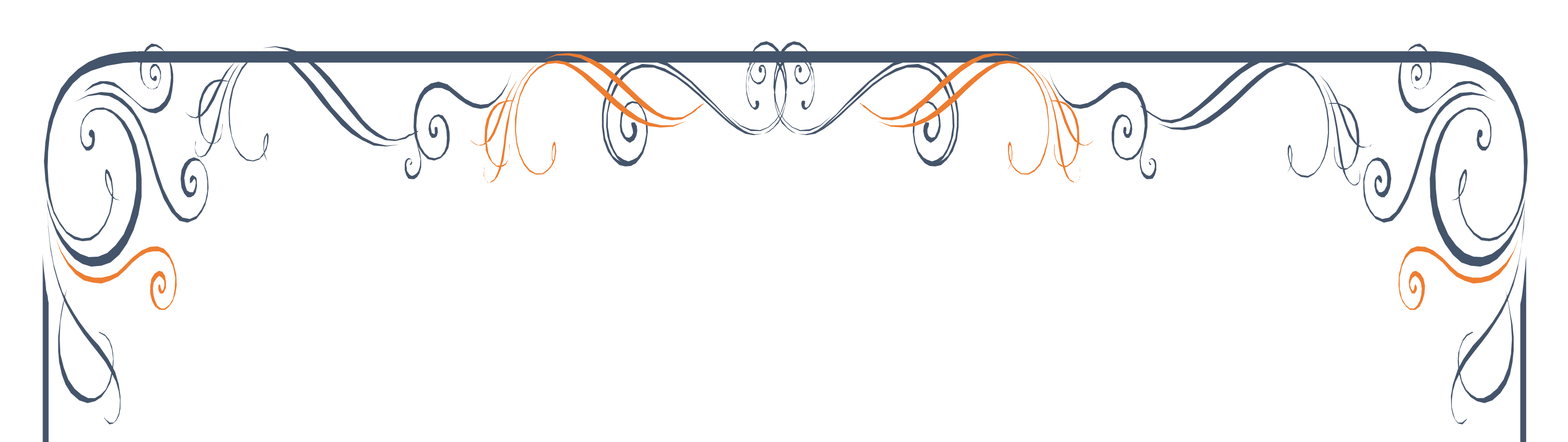
شكل (٢ ــ ٢) يبين مقطع فى هذا المحرك ، وهو يتميز بالقدرة العالية ، ويعمل على الوقود الثقيل ، وكفاءة حرارية عالية . حيز الاسطوانات مفصول عن حيز صنـــدوق المرفق مما يسمح باستخدام الزيت المناسب لتزييت القميص ويمنع تلوث صندوق المرفق بغازات الاسطوانة المتسربة .



Sulzer RND engine

شكل (٢ ــ ٢)





وجود بوابات العادم يمكن من الاستغناء عن صمامات العادم وما يتبعها من مشاكل صيانتها ، وتوفير القدرة المستهلكة فى تشغيلها والمصاعب المترتبة فى مجموعة عكس الحركة .

وجود بوابات الكسح وبوابات العادم فى محيط الجلبة من أسفل ربما يؤدى إلى فقد بعض هواء الكسح ، ولكن يزيد من كفاءة الشحن بالإضافة إلى أنه يمكن استخدام الحيز أسفل المكبس فى زيادة التشحين .

فى هذا المحرك يستخدم نظام الضغط الثابت Constant-pressure system فى طريقة خروج العادم مع الاستعانة بمروحة مساعدة Auxiliary blower عند السرعات الواطية وبدء الحركة . .

يبرد القميص بالماء ويستخدم كذلك التبريد الدائرى بعمل ثقوب Bore-cooling لتقليل الاجهادات الحرارية وخاصة فى الجزء العلوى القريب من غرفة الاحتراق .

تبرد المكابس بالماء بواسطة المواسير التلسكوبية Telescopic pipes .

يتم تزييت رأس الانزلاق Cross-head بواسطة الذراع المتأرجح Articulating-arm ومنه إلى النهاية الكبرى Bottom.end bearing عن طريق ذراع التوصيل .

يصنع الفرش من الصلب المشكل باللحام مع مسبوكات الصلب التى تشكل الدعامات العرضية .

أما الكراسي الرئيسية Main-bearing فيتم تزييتها من دائرة الضغط الواطى مباشرة .

ونظراً لوجود عمود الكامات فى المنتصف فيتم نقل الحركة إليه عن طريق التروس .

يتم عكس الحركة فى هذا النظام بنظام الحركة المفقودة lost-Motion .

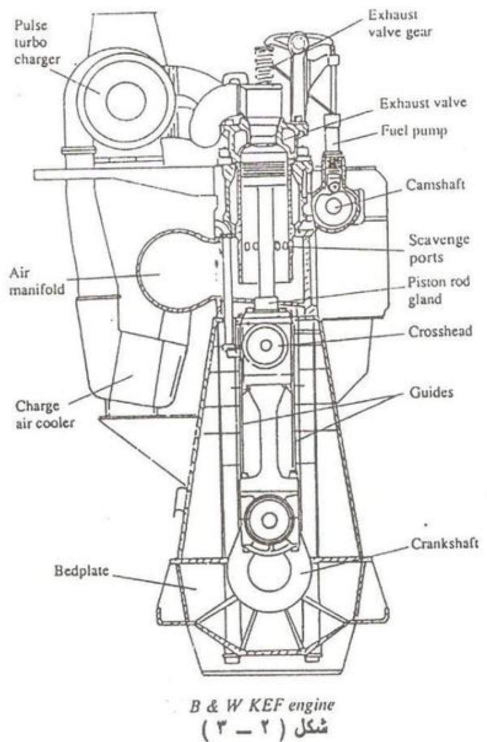
إن هذا النوع من المحركات بطئ السرعة (حوالى ١٠٠ لفة/دقيقة) ويتصل مباشرة بعمود الرفاص .

٢ ــ ١ ــ ٢ : محرك ثنائى كبير يستخدم صمام العادم :

Main engine using poppet exhaust valve B&W- (K.E.F) :

شكل (٢ ــ ٣) يوضح مقطع فى هذا النوع ويمتاز بالحصول على أعلى كفاءة كسح للاسطوانة ، وفى الوقت نفسه يبسط الجلبة تماماً .





B & W KEF engine

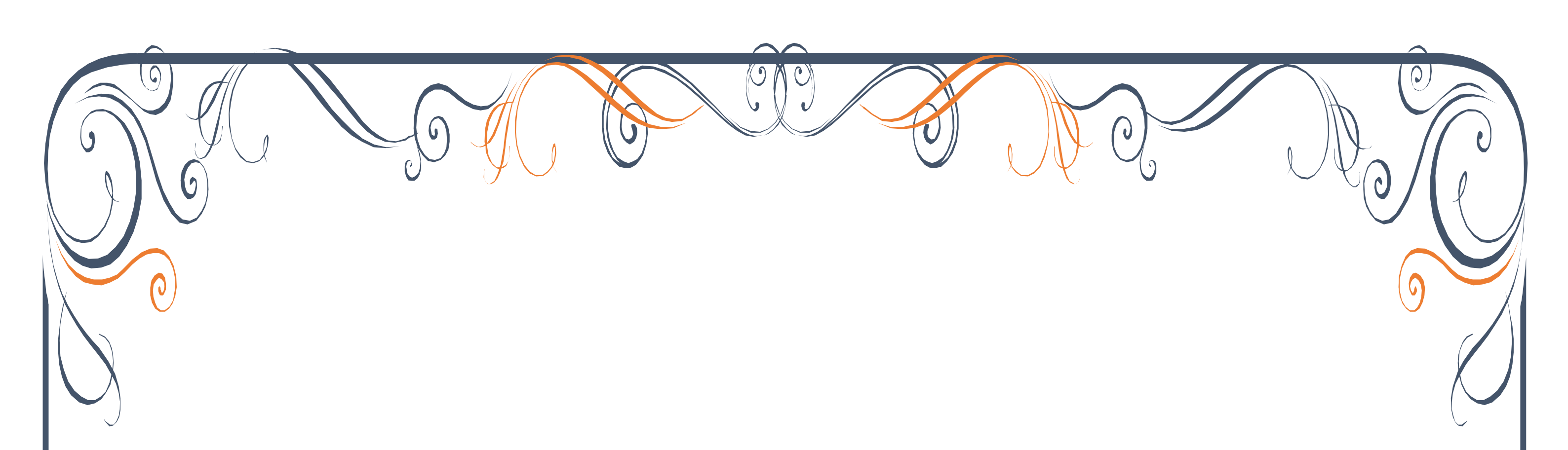
شكل (٢ ــ ٣)

إن وجود بوابات العادم بالقرب من بوابات الكسح تسبب اجهادات حرارية عالية فى هذا المكان ، ويسبب حدوث الشروخ ، كما أن حافة تاج المكبس تتعرض لإجهادات حرارية عالية من غازات العادم الساخنة الخارجة المتبوعة بهواء الكسح البارد مباشرة .

فى هذا النوع يسهل تزييت الاسطوانة ويقل الاستهلاك .

يمكن الحصول على أفضل توقيت لصمام العادم باختيار محيط الكامة المناسب وبذلك يمكن تقليل الفقد فى هواء الكسح ، وليس من الضرورى وجود جزء طويل للمكبس .

يتم تشغيل الصمامات بأعمدة دفع وأذرع هزازة أو هيدروليكياً ، ويوجد ثلاث صمامات حقن وقود تعطى رشها بعيداً عن الصمام .



تبرد المكابس بالزيت ، يصل الزيت من الماسورة الرئيسية للزلاقة عن طريق الماسورة التلسكوبية حيث يتم تزييت الزلاقة ، ويتجه جزء لأسفل لتزييت النهاية الكبرى عن طريق ثقب فى ذراع التوصيل وآخر إلى أعلى لتبريد المكبس عن طريق ثقب فى عمود المكبس .

فى هذا النوع يستخدم نظام الدفع Pulse-system فى طريقة خروج العادم وتجمع عادم كل ثلاثة اسطوانات إلى التربينة ، وتستخدم مروحة مساعدة فى حالة المناورات والسرعات المنخفضة .

يتم نقل الحركة لعمود الكامات بواسطة كتينه نظراً لبعد المسافة عن عمود المرفق ومثبت عليه كامات لفتح صمامات العادم والوقود .

٢ ـ ١ ـ ٣ : محرك ثنائى ذات المكابس المتضادة :

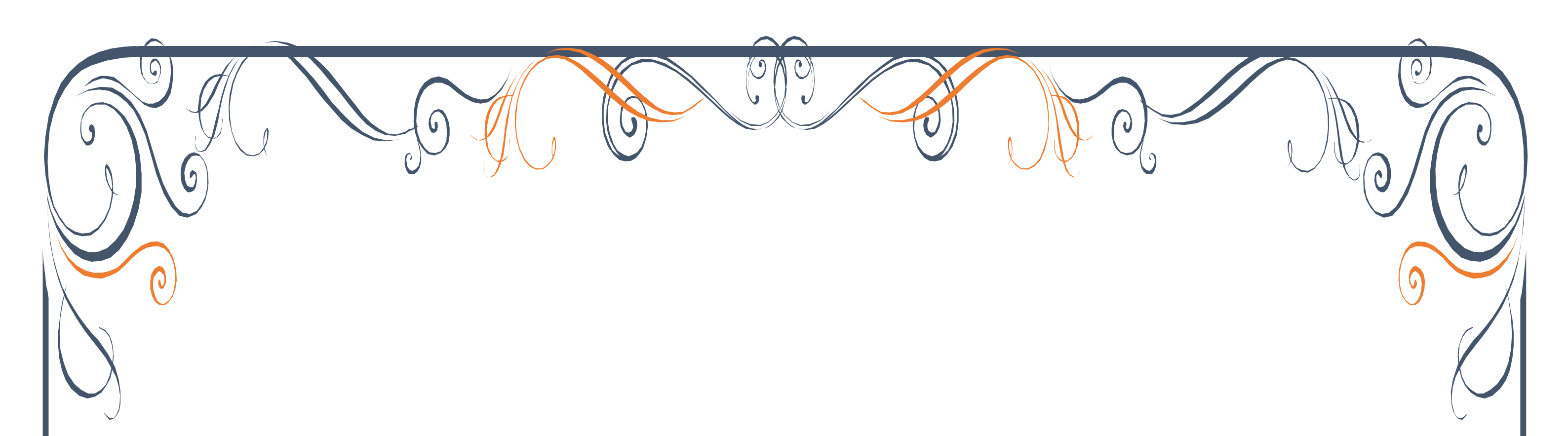
Opposed piston two-stroke main engine

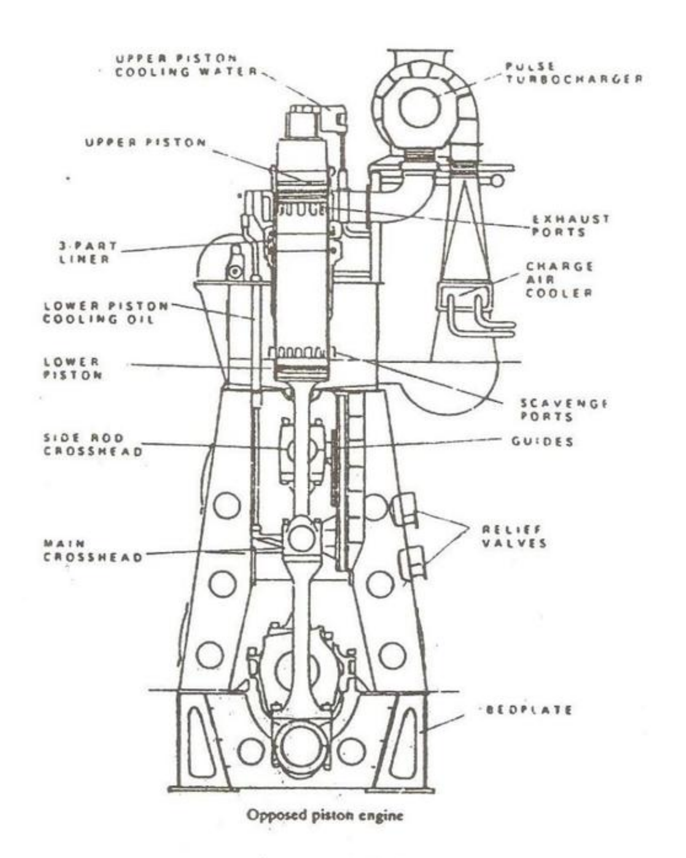
شكل (٢ ـ ٤ أ) يوضح مقطع فى هذا النوع من المحركات ، ويتميز هذا النوع بالتالى:

- يمكن الحصول على قدرة أعلى من الوحدة .
- حركة المكبسين العكسية تكسب المحرك اتزان ابتدائى .
- يتلقى المكبس العلوى قوة دفع للغازات وينقلها إلى عمود المرفق ، فلا حاجة إلى المسامير الشدادة مما يخفف وزن الفرش .
- يكشف المكبس السفلى بوابات الحر ، بينما يكشف المكبس العلوى بوابات العادم فلا يوجد صمامات ولا رأس أسطوانة وتكون غرفة الاحتراق محصورة بين المكبسين .
- يعمل هذا المحرك بنظام الكسح الطولى وما له من مزايا .

ويتم تبريد المكبس السفلى بالزيت عن طريق ماسورة تلسكوبية ، ويتم تبريد المكبس العلوى بالماء (نظراً لارتفاع درجات الحرارة) بماسورة تلسكوبية خارج حيز صندوق المرفق .

تنقل القوى من المكبس العلوى عن طريق الأذرع الجانبية ورؤوس الانزلاق وأذرع التوصيل الجانبية إلى عمود المرفق كما يتضح من الشكل (٢ ـ ٤ ب) .





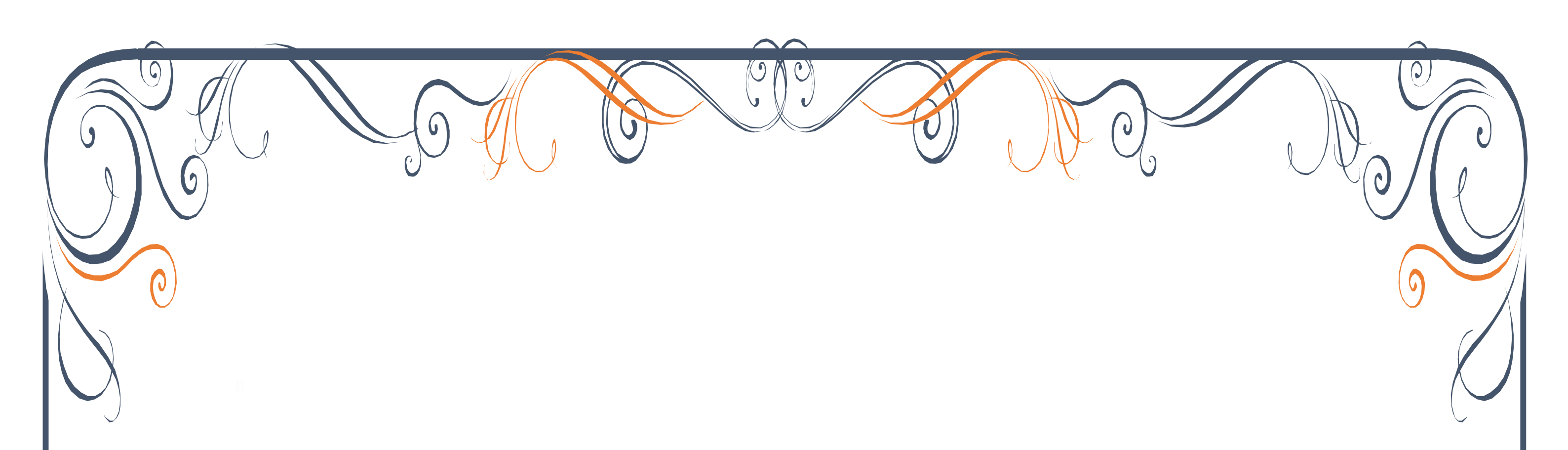
Opposed piston engine

شكل (٢ ــ ٤ أ)

عمود المرفق معقد التصميم إلى حد ما ، ويضبط توقيت فتح بوابات العادم لتقليل الفقد فى هواء الكسح .

للاتزان يكون مشوار المكبس العلوى حوالى نصف مشوار المكبس السفلى ، يزود المحرك بصمامين أوثلاثة لحقن الوقود للوحدة الواحدة ، وتثبت فى محيط غرفة الاحتراق .

تتكون الاسطوانة من ثلاث أجزاء ، الجلبة العلوية والسفلية ويثبتا فى الجزء الأوسط ــ غرفة الاحتراق المصنعة من الصلب المصبوب ، ولكل من الجلبة العلوية والسفلية حرية التمدد لأعلى وأسفل .



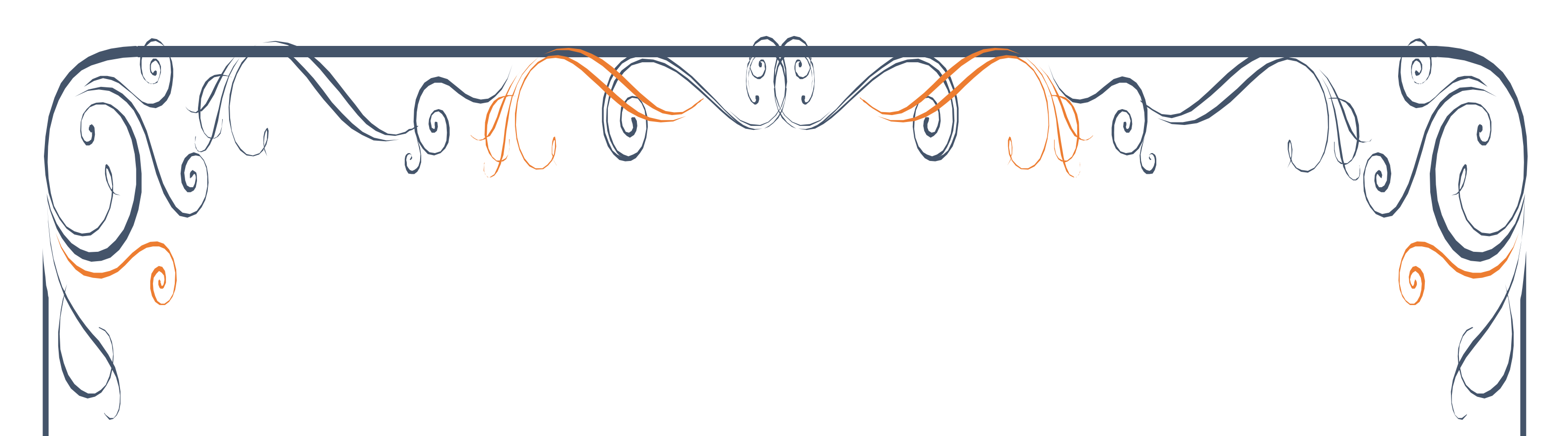
ومزايا استخدام هذه المحركات تنحصر أساساً فى أن قوى القصور الابتدائية متزنة تماماً ، كما أن الازدواجات الداخلية ضئيلة جداً ، فلا تأثير على الفرش والمحامل . كما أن القوى الناتجة من ضغط الغازات ، تنقل مباشرة لعمود المرفق ، فلا حاجة للمسامير الشدادة Tie-bolts، وعليه فيكون الفرش أخف وزناً ويصنع باللحام من ألواح الصلب .

أما المحركات ثنائية الأشواط الحديثة فهي :

١) المحرك RTA - Sulger
صفحة ٥٩٦

٢) المحرك LMC. MAN - B&W
صفحة ٦١١

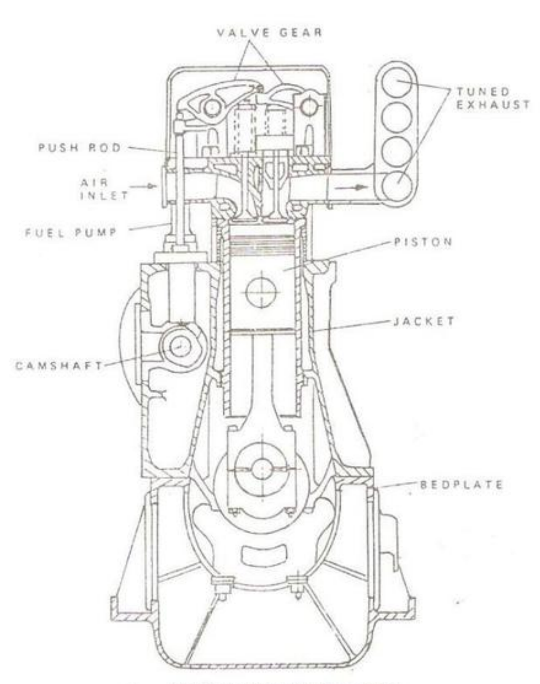
شكل (٢ — ٤ ب)



<u>٢ ـ ١ ـ ٤ محرك ديزل رئيسى رباعى الأشواط متوسط السرعة</u>

Medium speed , four stroke trunk piston , main D.E.. :

شكل (٢ ـ ٥) يبين مقطع فى هذا المحرك ويتميز بالتالى :

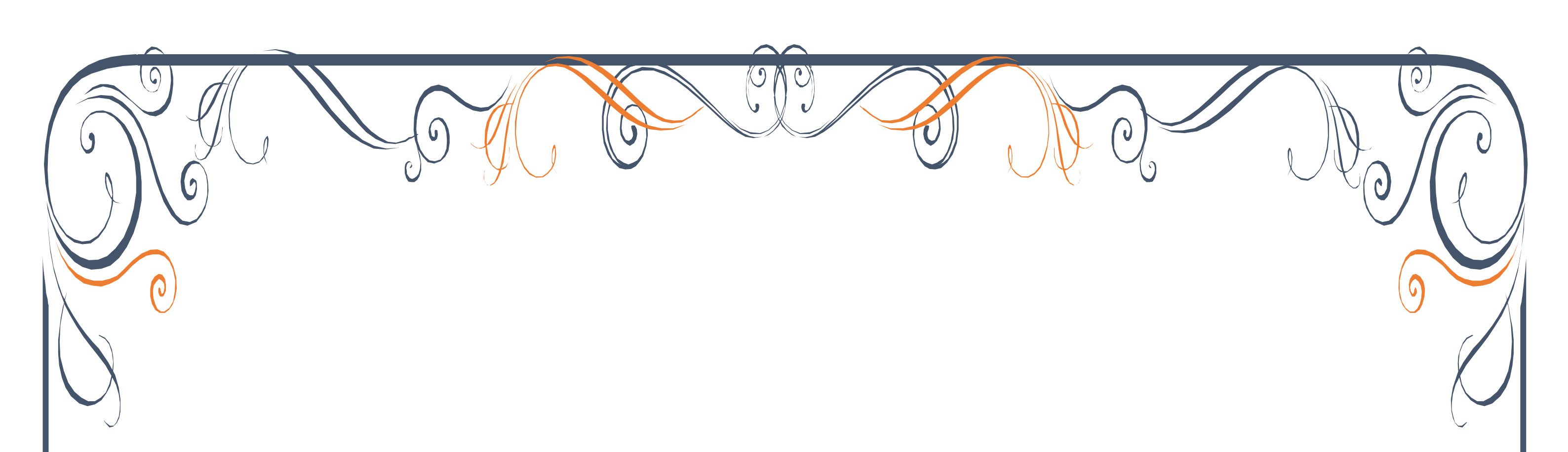


Medium speed trunk piston engine

شكل (٢ ـ ٥)

ـ نسبة القدرة / الوزن والقدرة / الحجم عالية بمقارنتها بالمحرك البطئ الكبير . ولذا فإن سعره أقل لنفس القدرة .

ـ نظراً لوجود تروس التخفيض فيمكن اختيار أنسب سرعه لتعطى أعلى كفاءة دفـع للرفاص .



ـ نقص حجم ووزن المحرك ، يجعل غرفة المحركات أصغر مما يفيد مصمم السفينة .

ـ يمكن استخدام محركين بدلاً من محرك واحد ، على رفاص واحد أو رفاصين فيعطى مرونة فى الصيانة وقوة تحمل أعلى .

ـ يمكن استخدام رفاص أصغر للسفن الأقل غاطس .

ـ الاجهادات الحرارية أقل على الاسطوانة نظراً لانخفاض درجـات الحـرارة أثنـاء الدورة وهذا يقلل من البرى .

ـ الجلب بسيطة نظراً لعدم وجود البوابات .

ـ سهولة زيادة القدرة وذلك بإمكان زيادة معدل التشحين .

ـ إمكان نظافة الاسطوانة تماماً بدون فقد فى هواء الكسح .

ـ عدم احتمال حدوث حرائق فى حيز الكسح .

ـ استخدام المكبس الجذعى يقلل من ارتفاع المحـرك وعـدد الأجـزاء المتحركـة والتخلص من الصعوبة فى تزييت الزلاقة .

ـ يسهل تزييت أجزاء هذا المحرك،حيث يعطى الزيت للكراسى الرئيسية ومنها إلـى النهايات الكبرى عن طريق ثقوب فى عمود المرفق إلى النهايات الصـغرى عـن طريق ثقوب فى أذرع لتوصيل ، ويعود الزيت إلى الكـارتير حيـث يـتم نظافتـه بالمنقيات .

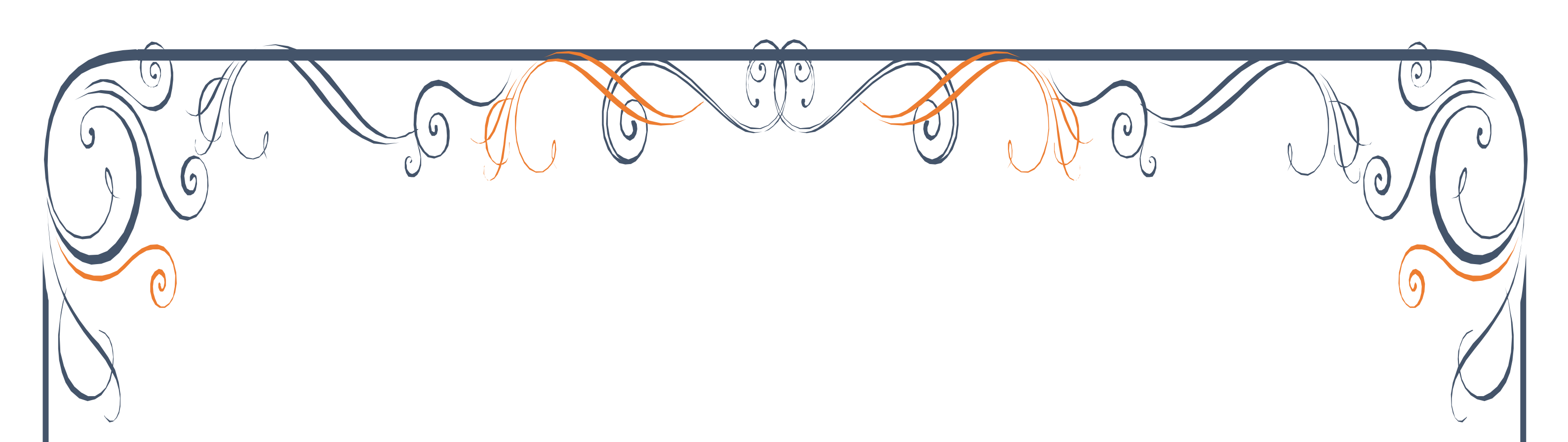
ـ حيث أن الأجزاء المتحركة أقل وزناً ، فتقل قوى القصور الذاتى ، كما أنها أسـهل فى الصيانة والتخزين .

ـ يكون المحرك وحدة مستقلة حيث أن جميع المضخات ملحقة به Attached .

والاتجاه الحديث هو جعل المحرك ذات اتجاه واحد ، ويمكن عكس الحركة عن طريـق مجموعة التروس أو استخدام الرفاص متغير الخطوة ، ومميزات هذا الاتجاه هو :

- يكون العزم اللازم لدوران المحرك أقل .
- عدد مرات تقويم المحرك أقل وعليه فإن كمية الهواء المطلوبة تكون أقل .
- يمكن اختبار حالة المحرك والسفينة على الرصيف .

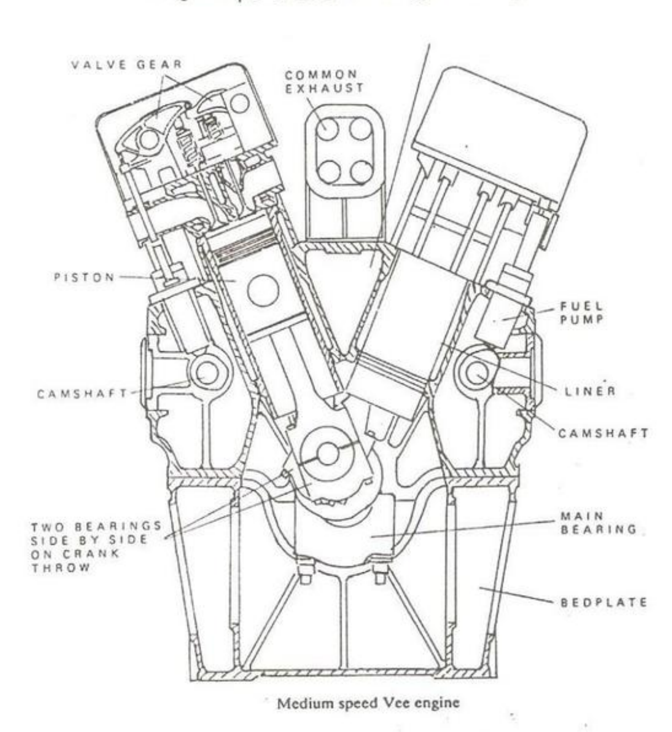
ـ للحصول على قدرات أعلى أمكن زيادة عدد الوحدات ، باستخدام المحركات التى على شكل V .



٢ ــ ١ ــ ٥ : محرك ديزل رئيسى رباعى الأشواط على شكل حرف V متوسط السرعة :

Medium speed , V-type , main D.E.

شكل (٢ ــ ٦) يبين مقطع فى هذا المحرك ، وهو عبارة عن كتلتين للاسطوانات متصلتين على شكل حرف V ، ومثبتتين على فرش واحد ويكونا صندوق مرفق واحد .
والغرض هو الحصول على قدرة أعلى من أقل وزن وحجم للمحرك .

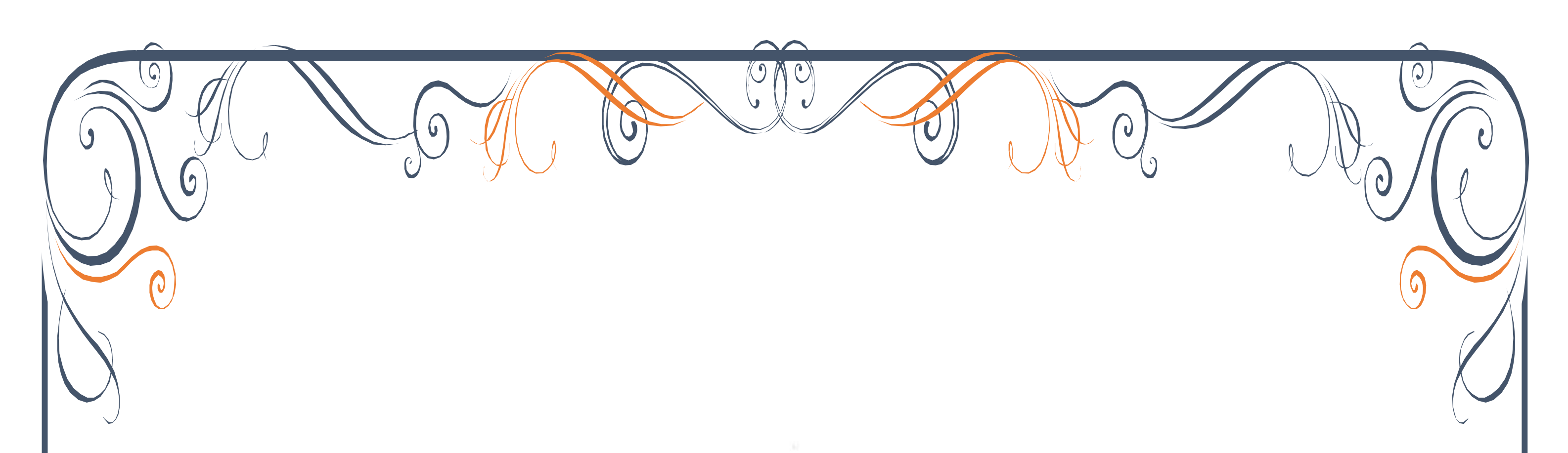


Medium speed Vee engine

شكل (٢ ــ ٦)

لهذا المحرك عمودين كامات ، واحد لكل كتلة اسطوانات ، يأخذان حركتهما من مجموعة التروس ، تعطى الحركة للملحقات المساعدة مثل الطلمبات وضاغط الهواء المتصل حتى يكون المحرك مستقل بذاته .

لعدد معين من الوحدات يقل طول عمود المرفق فى هذا النوع ، ولكن يشترط ان يكون ذا متانة أعلى نظراً لزيادة القوى الواقعة عليه .



٢ ــ ١ ــ ٦ : مقارنة بين محركات الديزل رباعية وثنائية الأشواط

Comparison between 4-stroke & 2-stroke diesel engines :

١. بمقارنة المحركات الديزل التى لها نفس الأبعاد وعدد اللفات ، وجد أن المحرك الثنائى يجذب الاهتمام إليه دائماً خصوصاً فى القدرات الكبيرة (عشرات الآلاف من الكيلووات) نظراً لأن قدرته النظرية ضعف مثيله الرباعى الأشواط . ولكن عملياً تقل عن ذلك نظراً لوجود طلمبة الكسح التى تستهلك حوالى ١٠% من القدرة بالإضافة إلى الفقد فى هواء الشحنة الطازجة عبر بوابات العادم .

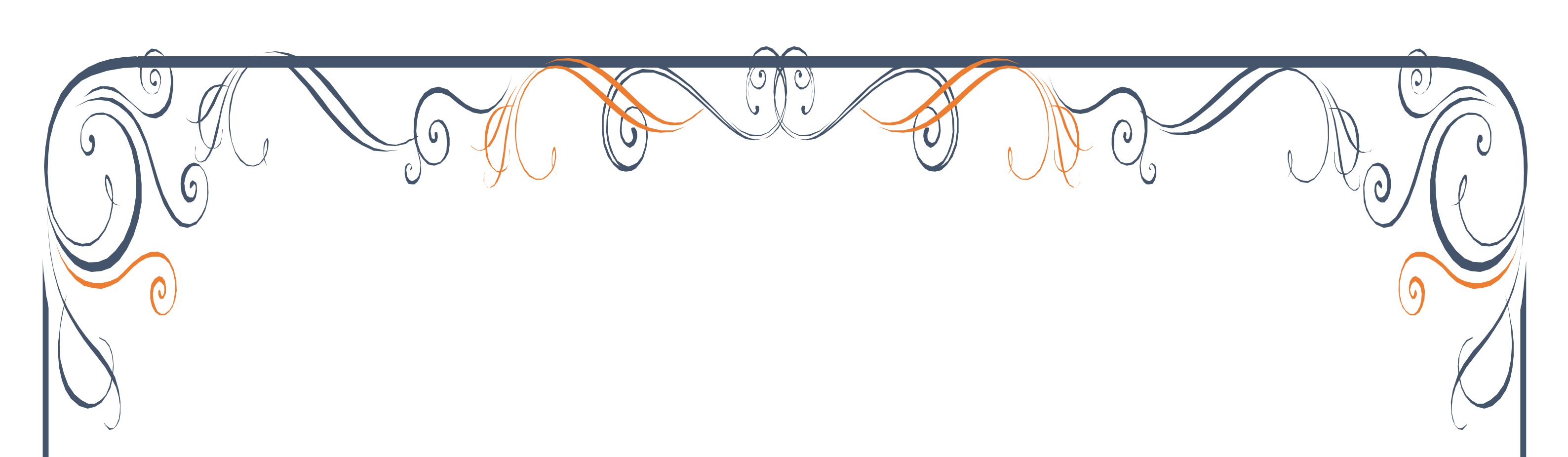
٢. فى المحركات الرباعية الأشواط يسهل نظافة الاسطوانات من غازات الاحتراق وملئها بالهواء النقى نظراً لطول الفترة المتاحة لاتمام ذلك مما يحسن الجودة الحجمية η_v وبالتالى الجودة الحرارية η_{th} .

٣. تتعرض غرف الاحتراق فى المحركات الثنائية الأشواط لكمية حرارة تكاد تكون ضعف المعطاة فى حالة المحركات الرباعية الأشواط ، ولذا فإنها تتعرض لاجهادات حرارية كبيرة مما يتطلب الدقة التامة فى دراسة القدرة لإمكانية تحمل الاجهادات الميكانيكية .

٤. تحسين توزيع عزم الدوران على عمود الإدارة فى المحركات الثنائية الأشواط نظراً لأن دورة التشغيل تتم فى مشوارين للمكبس ، أى لا يوجد شغل سالب مفقود فى شوط السحب والعادم .

٥. تتميز المحركات الثنائية الأشواط بسهولة عكس الحركة نظراً لعدم وجود صمامات (فى حالة وجود بوابات للحر والعادم) .

٦. سهولة صيانة المحركات الثنائية الأشواط (فى حالة وجود بوابات للحر والعادم) حيث أن الصمامات تتطلب صيانة مستمرة ، بالإضافة إلى سهولة تصميم رأس الأسطوانة ، مما يسهل الحصول على أنسب غرفة احتراق .



(٢-٢) الفرش والهيكل

Engine bedplate and A-frame

حيث أن الهيكل الخارجى والفرش لمحرك الديزل يحتوى على مجموعة نقـل الحركـة فيجب ان يتوافر فيها الاشتراطات والخصائص التالية :

المتانة : Strength

وهى القدرة على تحمل الأحمال ، وهى ضرورية نظراً لظهور القوى المؤثرة الكبيـرة مثل : قوة الغازات ــ قوة القصور الذاتى ــ الاهتزازات ...

الصلابة : Rigidity

وهى عدم تغيير الشكل ، وهى ضرورية للحفاظ على استقامة عمود المرفق ومجموعة المكبس ، ولا يمكن التشغيل السليم بدون الاحتفاظ بهذه الاستقامة .

الجساءة : Toughness

وهى توافـــر المرونة وهذه الخاصية هامة للمعدن حتى لا ينهار بتأثير اجهاد الكلال (مقاومة إجهاد الكلل Fatigue)

خفة الوزن : Lightness

وهى هامة فى المجال البحرى وذلك لزيادة نسبة القدرة / الوزن ، كما أن توفير الوزن يساعد على قلة التكلفة .

الاحـــــكام : Seal

وهو عدم السماح بخروج الأبخرة من علبة المرفق إلى غرفة المحركات .

سهولة الوصول للجزء : Access

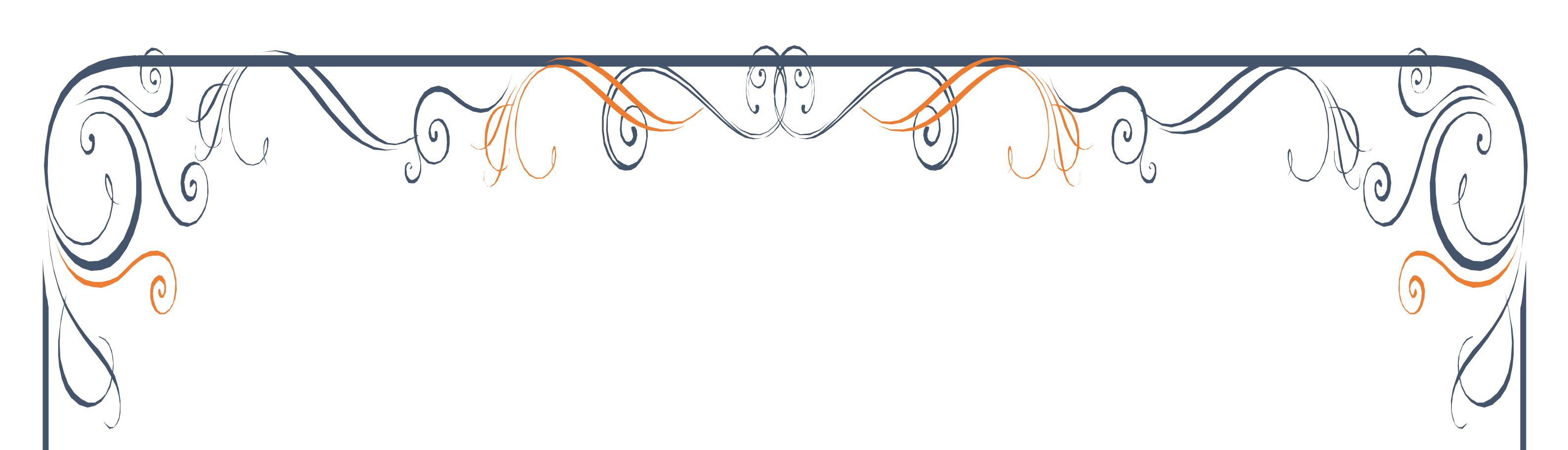
يجب أن يتوافر سهولة التوصل للأجزاء الداخلية وذلك للفحص والصيانة .

التصميم البسيط : Simple Design

وهذا يساعد على التجميع والتثبيت والصيانة ، ويقلل التكلفة .

صغر الحجم : Main Dimensions

وهذا مطلوب خاصة فى المجال البحرى ، وذلك لزيادة نسبة القدرة/الحجـم ، كمـا أن صغر الحجم يساعد على توفير المكان لعنابر الشحنة .



٢ ـ ٢ ـ ١ : الفرش : Bedplate

يعتبر الفرش كقاعدة لهيكل المحرك وينقل القوى الناتجة من ضغط الغازات وقوى القصور الذاتى للأجزاء المتحركة علاوة على وزن الهيكل إلى بدن السفينة ، ويراعى فى تصميمه الآتى :

١. وجود مبايت مناسبة للكراسى Main-bearings للحفاظ على الاستقامة .
٢. وجود أعصاب Girders تحت الكراسى وحتى تتوافر المتانة العرضية .
٣. توافر الأسطح المستوية للتثبيت على سطح الصهريج المزدوج للسفينة وتثبيت الهيكل عليه .
٤. يعمل كمجمع للزيت بعد التشغيل حيث يعود إلى صهريج التصافى .

ويصنع الفرش عادة من إنشاء قطعة واحدة إما من الحديد الزهر C.I أو الصلب المشكل Prefabricated - steel أو الصلب المصبوب C.S. وإما من الصلب المصبوب والصلب المشكل معاً .

أولاً : فرش الحديد الزهر : C.I bedplate

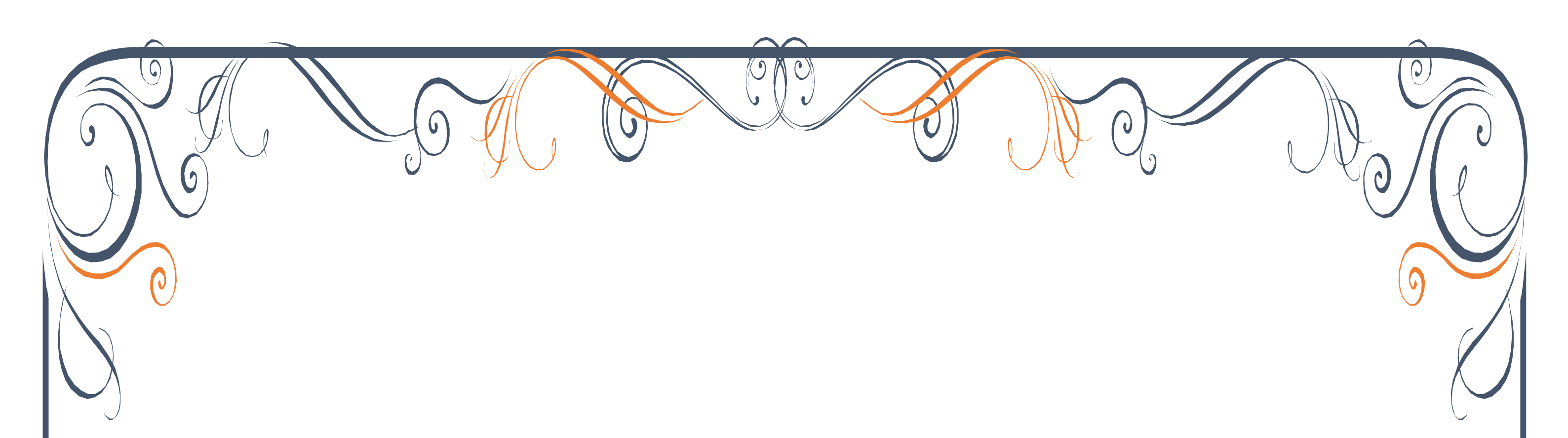
إنشاء من قطعة واحدة ومحصور حالياً بالنسبة للمحركات الصغيرة وذلك نظراً لخفة وزنه . عندما يكون الجزء المراد صبه كبيراً تقابلنا صعوبات عديدة مثل عمل القالب ، عملية الصب نفسها ، عدم تجانس حجم ذرات معدن المصبوبة، وزيادة ظهور العيوب ..الخ. علاوة على ذلك فإن الفرش المصنع من الحديد الزهر يقل تحمله لإجهاد الشد عن ذلك المصنع من الصلب ، وقد فضل الحديد الزهر قديماً نظراً لرخص ثمنه ، وخلوه من الإجهادات وسهولة استعدال الأسطح .

ولما كان الفرش يتعرض لاجهادات قاسية ، وخاصة اجهاد الثنى bending لذلك فعند تصنيعه من الحديد الزهر يشترط أن يكون من سبائك ذات خولص ميكانيكية عالية ولنذكر فيما بعد أحد هذه السبائك :

Tensile Strength = 200 N/M^2

Composition : - C = 3.3 : 3.6 %

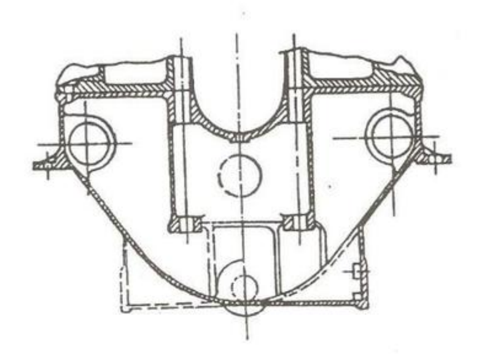
Ph = 0.3 : 0.4 %	Si = 1.5 : 1.8 %
S = 0.1 : 0.13 %	Mn = 0.5 : 0.8 %



ويوجد طرازين رئيسيين هما :

ـ طراز الحامل : Trestle type

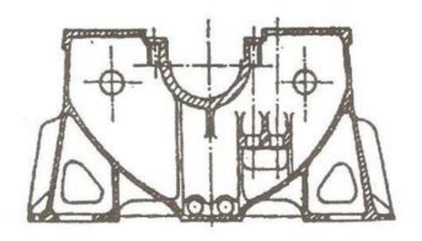
شكل (٢ ـ ٧ أ) ويستخدم للمحركات ذات المكابس الجزعية ، وهذا النوع يكون ارتفاعه صغير ويزود عادة بمجمع الزيت ، وهو يحتاج لتثبيت خاص يشكل فى سطح القاع المزدوج .



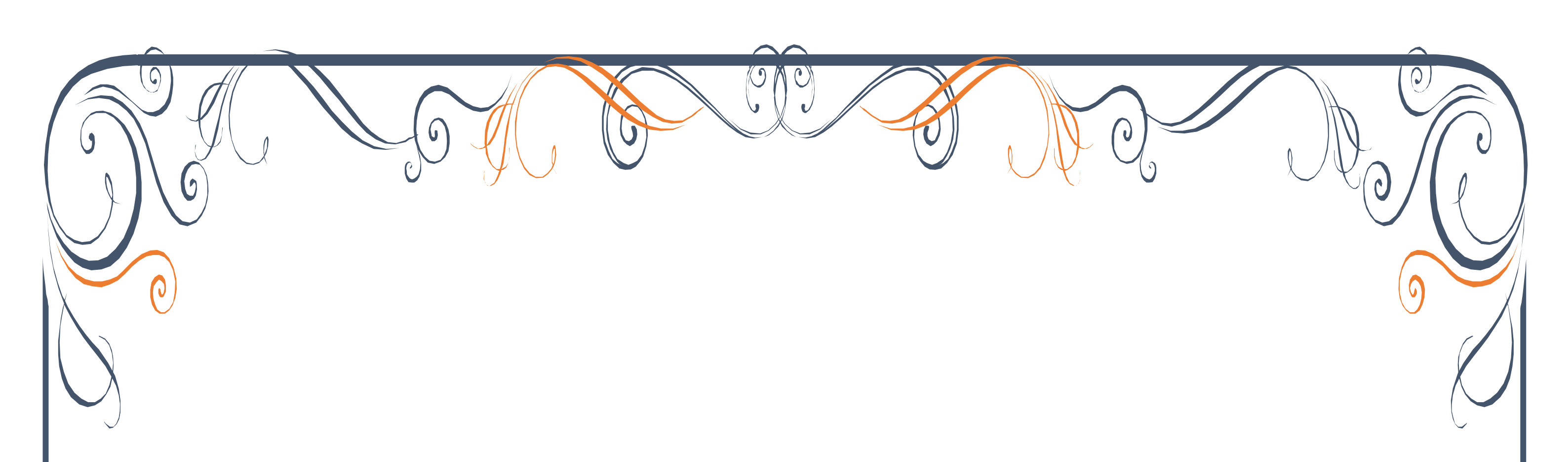
شكل (٢ ـ ٧ أ)

ـ طراز الصندوق : Box-type

شكل (٢ ـ ٧ ب) ويستخدم للمحركات الديزل البطيئة الثنائية الأشواط عادة ، ويمكن تثبيته مباشرة على سقف الصهريج المزدوج .



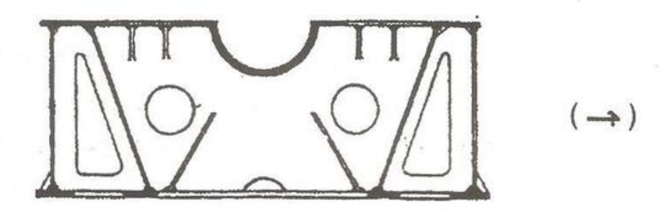
شكل (٢ ـ ٧ ب)



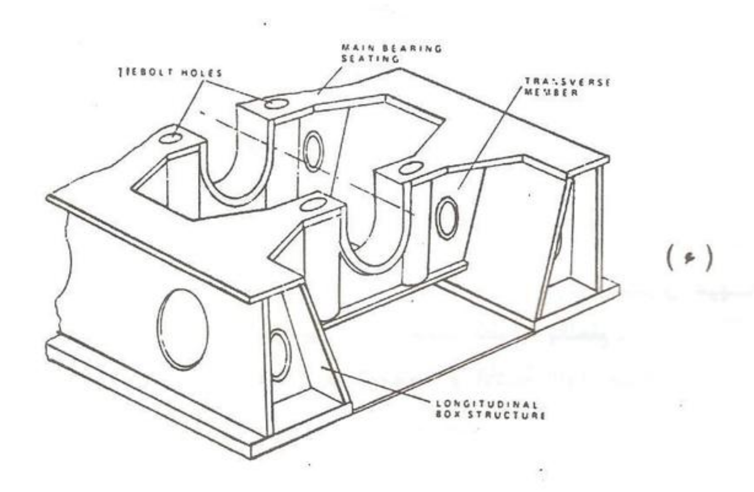
ثانيا : الفرش المصنع باللحام من الصلب المشكل : Prefabricated steel bedplate

بتقدم فن اللحام وطرق الفحص وظهور الأفران الكبيرة لمعالجة المشغولات ، صار الاتجاه للتصنيع باللحام من الصلب المشكل وذلك لخفة الوزن وقلة التكلفة ، ولنذكر هنا أن معامل المرونة Modulus of elasticity للصلب ضعف معامل المرونة للحديد الزهر ، ولذلك فإن الإنشاء المصنع من الصلب وله نفس قوة التحمل يكون بنصف تخانات المصنع من الحديد الزهر .

وشكل رقم (٢ ــ ٧ جـ ، د) يوضح فرش مصنع بهذه الطريقة ، ويتكون من إنشائين رئيسيين يشابها الصندوق بطول الفرش ومتصلين باللحام بأعصاب عرضية للتقوية وتكون كدعامة للكراسى الرئيسية ويمر بها مسامير الشد وذلك لحصول على إنشاء تام الصلابة .



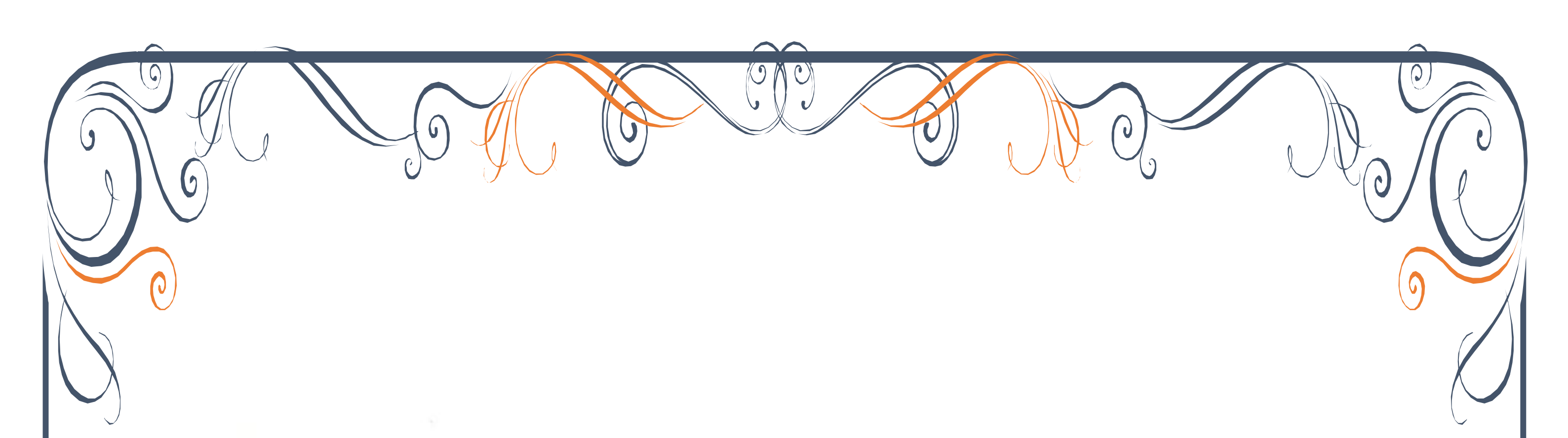
(جـ)



(د)

Engine bedplate

شكل رقم (٢ ــ ٧)



وتستخدم المحركات الكبيرة الفرش الصندوقى الذى يحتوى على قاعدة مسطحة يمكن تثبيتها مباشرة على سطح صهريج القاع المزدوج Double-bottom . وتصنع الفرش الصندوقية المشكلة باللحام من ألواح الصلب ومسبوكاته ، ولهذه الطريقة عدة مزايا مثل : خفة الوزن ــ قلة التكاليف ــ خلوها من العيوب ــ ، وتساهم جميع أجزاء الفرش فى االحصول على المتانة الكافية سواء أكانت طولية أو عرضية .

وفى حالة المحركات الحديثة ذات المشاوير الطويلة ، يزيد عمق الفرش ، ويجعل المسافة كبيرة بين الشفة العليا للفرش وكراسى النهايات السفلية ، وعليه فعادة يشكل حوض سفلى فى الفرش بغرض تقليل الارتفاع ، وهذا يحتاج إلى تجهيز خاص فى القاع المزدوج تحت الماكينة .

المتانة الطولية :

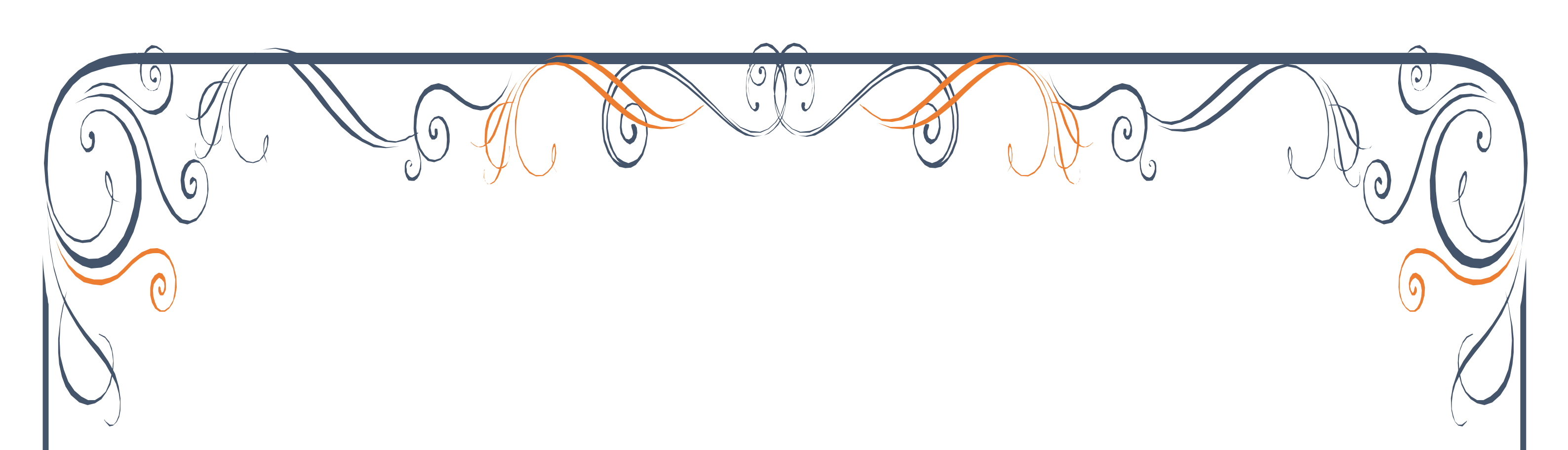
ونحصل عليها بعمل دعامة صندوقية Longitudinal girder على كل جانب من ألواح الصلب . ويتكون من سطح وقاعدة وجانبين . وفى بعض الأحيان نكتفى بالسطح والقاعدة وجانب واحد ، وتزود بزوايا للتقوية أو فخذ للحشو ، وعند عمل فتحات تخفيف فتعوض بعمل حلقات تعويض .

المتانة العرضية :

ونحصل عليها من الدعامات العرضية ، والتى تحتوى على مبايت المحامل الرئيسية لعمود المرفق ، وممرات المسامير الشدادة ، وهى تتعرض لأحمال متكررة عالية ، ولذا يجب أن تتمتع بالصلابة الكافية لعدم تغيير شكل الفرش ، أو حدوث انبعاجات قد تؤدى إلى عدم استقامة عمود المرفق ، ولذا يفضل تصنيعها من الصلب المصبوب وتجرى عليها المعالجة الحرارية (التلدين) ثم يتم توصيلها مع الدعامات الطولية باللحام .

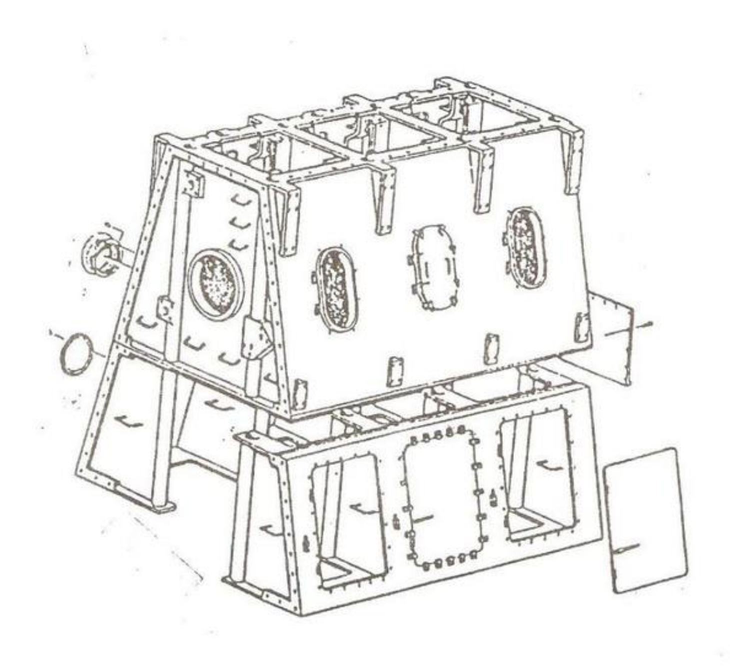
وتجرى فحوصات على هذا اللحام بالذرات الممغنطة أو الأشعة الفوق صوتية لتحديد سلامة اللحام أو تحديد أى شروخ أو عيوب ، ثم يجرى على الجزء بأكمله عملية التلدين Annealing .

ويحتاج الفرش إلى فحص دورى ويكون على أماكن اللحامات وأسفل الكراسى الرئيسية وكذلك على سلامة تثبيته فى مكانه .

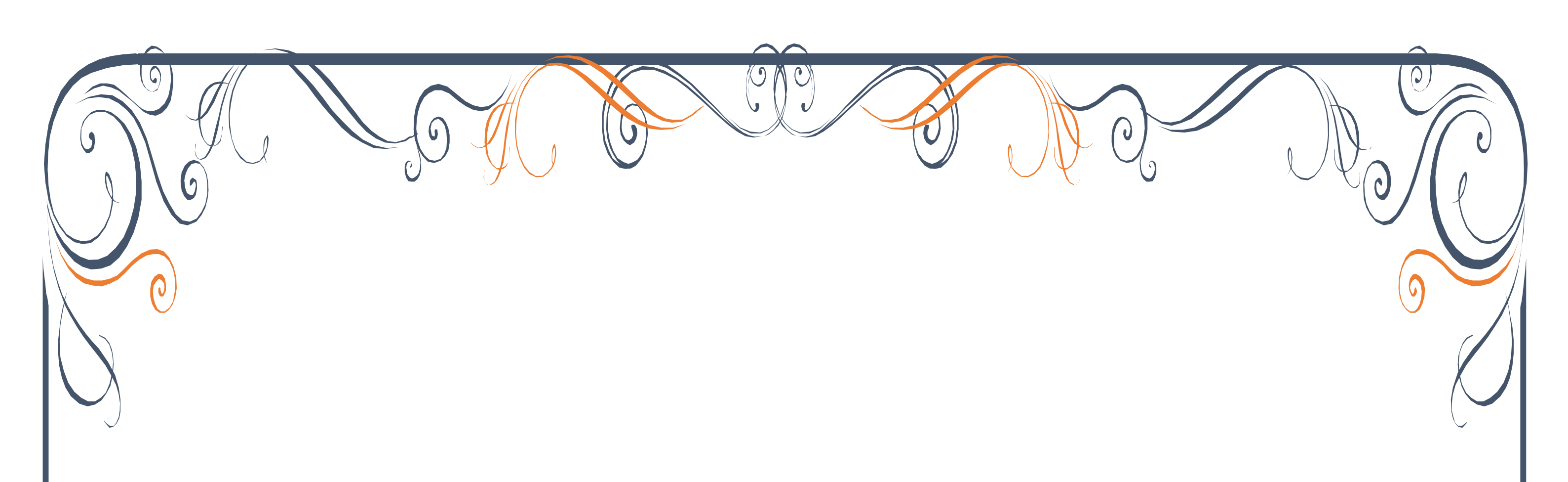


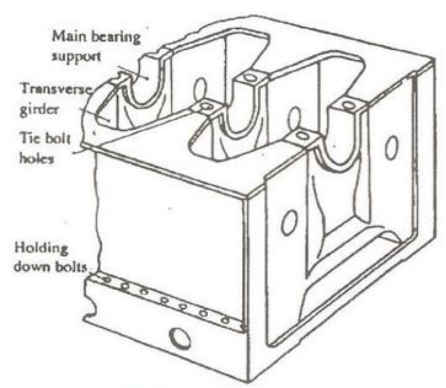
٢ ــ ٢ ــ ٢ : الهيكل والأعمدة A-Frames or columns

تثبت عليه الأدلة فى حالة المحركات ذات رأس الانزلاق Cross-head ويثبت على الفرش من أسفل ، ويثبت عليه جسم الاسطوانات من أعلى ، وهى موجودة فى المحركات العالية ، ويصنع إما من الحديد الزهر أو باللحام من الصلب المشكل . شكل (٢ – ٨ أ ، ب) .

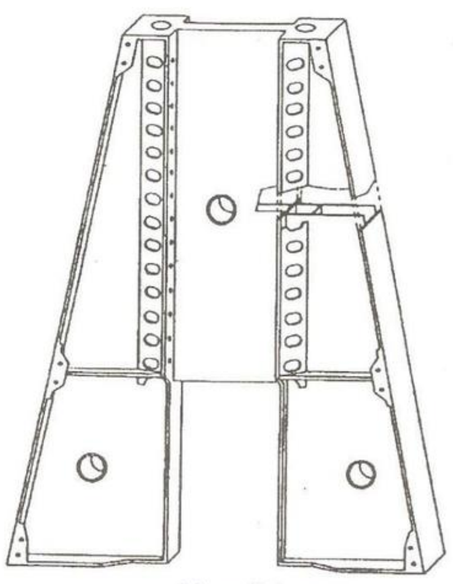


شكل (٢ ــ ٨ أ)





Bedplate for large two-stroke engine

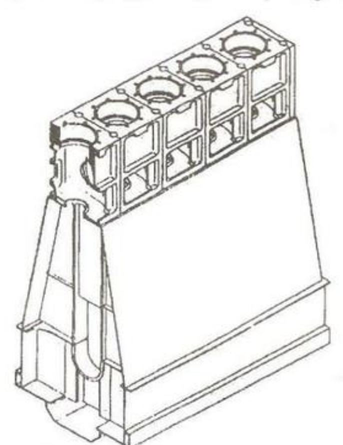


A frame (Sulzer RTA)

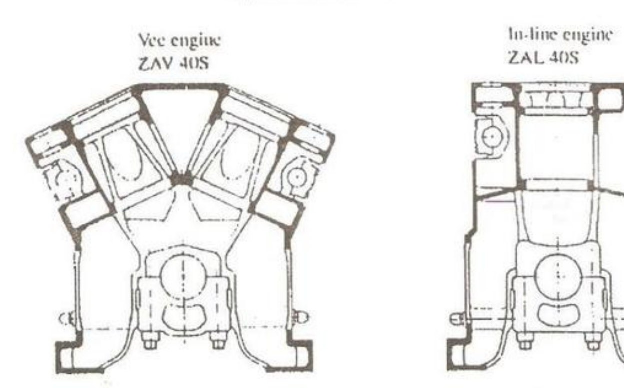
شكل (٢ – ٨ ب)



ويتم تثبيت جسم الاسطوانات مع الهيكل مع الفرش بواسطة مسامير الرباط Tie-bolts . التى تمر فى ثقوب خاصة معدة لها والموجودة بالدعامات العرضية لتكون جزء واحداً يتحمل القوى المؤثرة وبدون أى حركة بينها ، ويتم الرباط هيدروليكياً بواسطة صواميل ، ويشترط الاستقامة التامة لسلامة التشغيل . أما فى حالة المحركات المتوسطة السرعة والسريعة فيكون الهيكل مع جسم الاسطوانات جزء واحدا كما يتضح بالشكل (٢ – ٨ جـ)

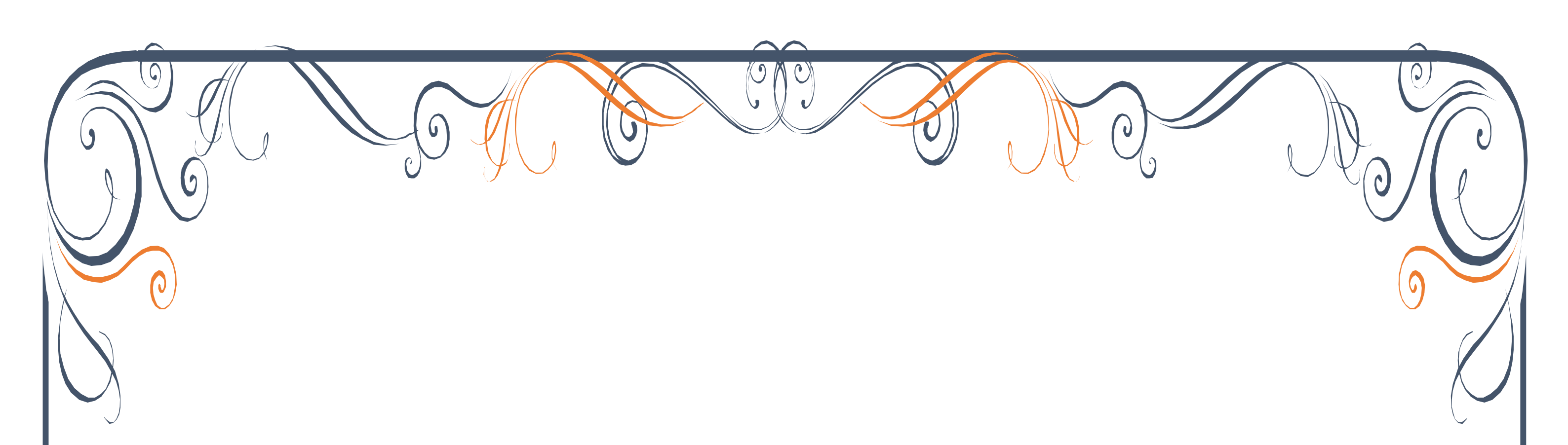


Engine structure (Sulzer)



Engine frame for medium speed engines (Sulzer)

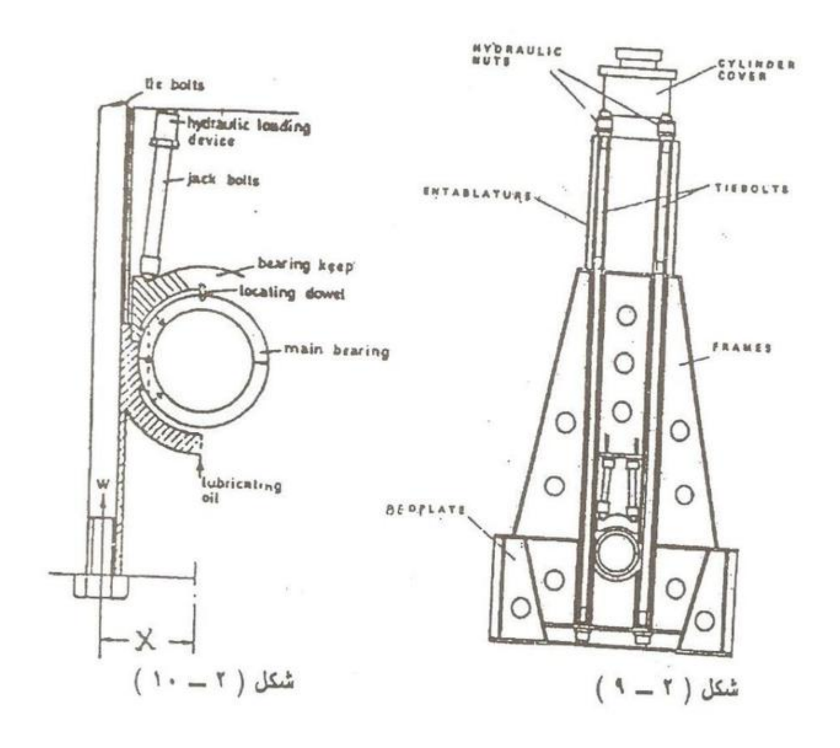
شكل (٢ ـ ٨ جـ)



٢ ــ ٢ ــ ٣ :المسامير الشداده Tie-bolts

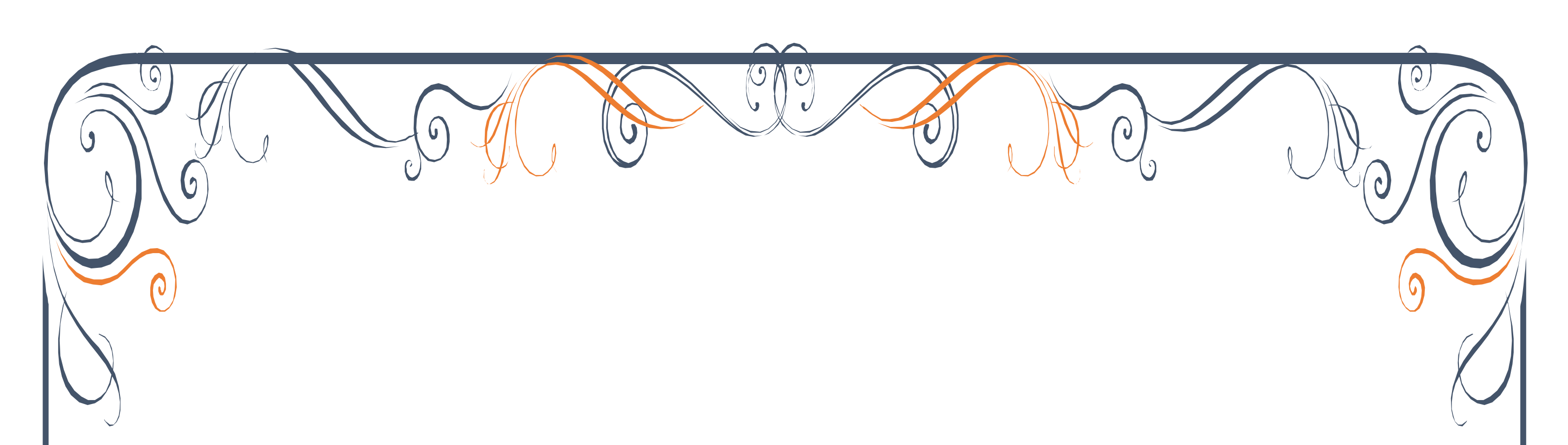
شكل (٢ ــ ٩) وتكون موجودة على جانبى المحامل الرئيسية ، وتمتص القوى الناتجة من ضغط الغازات المؤثرة على رأس الاسطوانه ، وتنقلها إلى الفرش ، وتصنع المسامير الشداده من نوع جيد من الصلب الذى يحتوى على C 0.3% وله قوة شد عالية حوالى $400\ N/mm^2$.

بالتشغيل يلزم إعادة الرباط على هذه المسامير ، ويجب مراعاة الدقة فى هذا الأداء وإلا تعرضت للاستطالة والتلف ، وليكن معلوماً أن القوى المؤثرة على هذه المسامير ليست فقط القوة الناتجة عن ضغط الغازات بل قوة الشد الناتجة عن الرباط أيضاً ، ولذا يجب توخى الحذر عند إعادة الرباط لعدم زيادة الاجهادات أو حدوث استطالة لها ويتم هذا الرباط هيدروليكيا و طبقاً لتعليمات الصانع .



شكل (٢ ــ ١٠)

شكل (٢ ــ ٩)



فى بعض التصميمات لتقليل عزم الثنى Bending-moment المؤثر على الفرش نتيجة القوة المنقولة فى المسمار الشداد ، يراعى صغر المسافة X كما هو واضح بالشكل (٢ ـ ١٠) ويستعاض عن مسامير رباط غطاء المحامل باستخدام روافع هيدروليكية Loading-devices، وبجعل المسافة X أصغر مايمكن ، يكون عزم الثنى W‚X (Bending moment) كذلك أصغر ما يمكن حيث أن W هى قوة الشد .

٢ ـ ٢ ـ ٤ المحامل الرئيسية Main bearings

تستخدم المحامل البسيطة Plain-bearing فى محركات الاحتراق الداخلى وتسمى ذات اللقم Shell-type حيث يتم صب السبيكة على لقم من الزهر أو الصلب ويتم تثبيتها فى المبيت ، وهذا هو النوع المفضل حالياً والأسباب التى أدت لذلك هى :

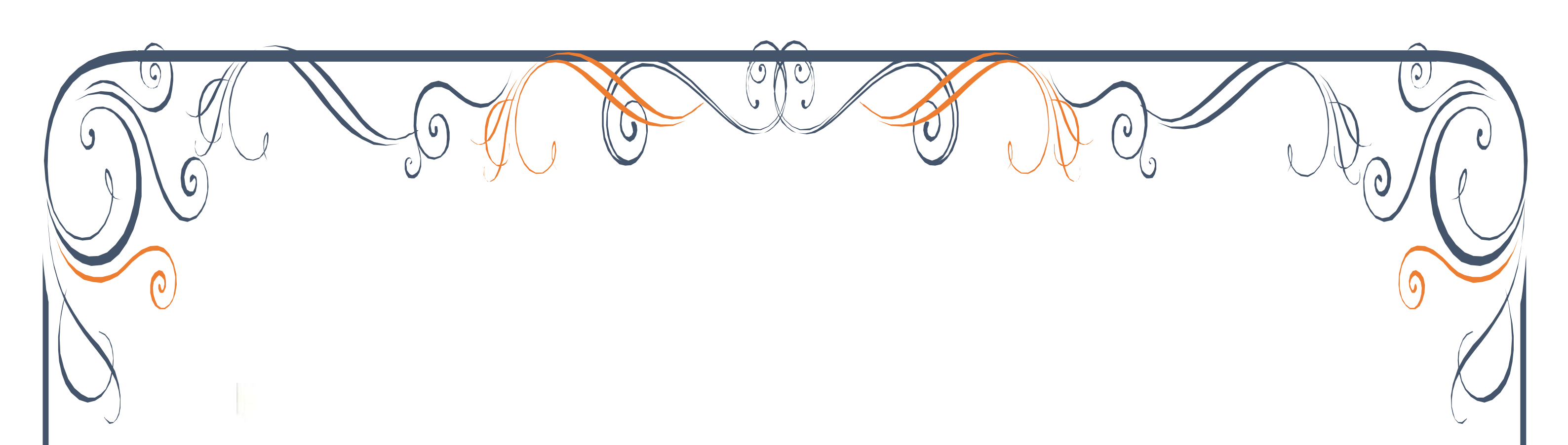
١ ـ سهولة التداول والتغيير وتقليل زمن الصيانة .

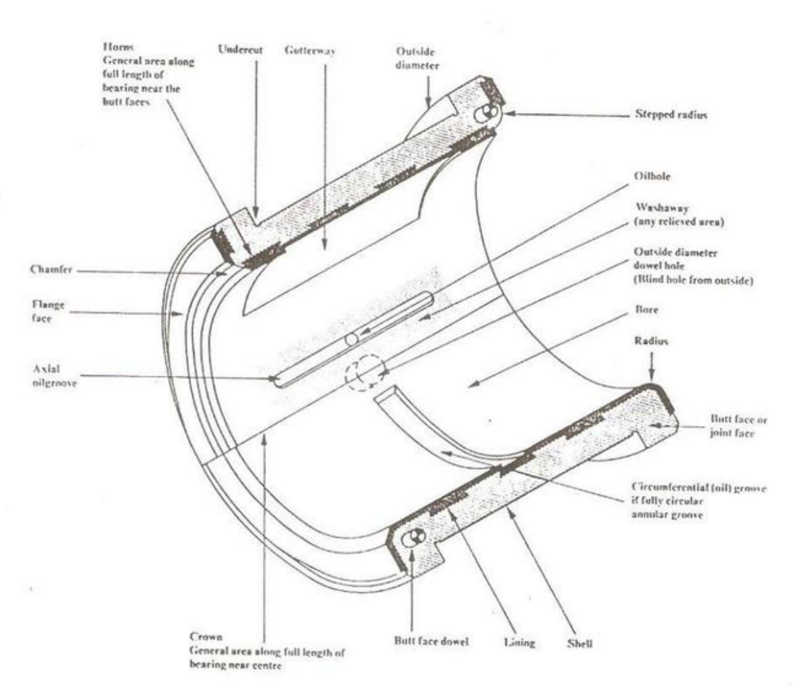
٢ ـ تقليل تخانة معدن السبيكة وهذا يسمح بتحمل الحمل الأعلى بدون انهيار .

٣ ـ سهولة تخزين قطع الغيار واحتياجها لمكان أقل .

شكل (٢ ـ ١١) يبين مقطع فى إحدى المحامل الرئيسية موضحاً عليه فتحة دخول الزيت والمجارى الطولية والمحيطية لضمان توفير طبقة الزيت اللازمة لتقليل النحر إلى أقل ما يمكن ، وفى بعض الأحيان تعمل المجارى المحيطية على توصيل الزيت إلى النهايات الكبرى عن طريق ثقوب فى فخذ عمود المرفق .

وتثبت المحامل الرئيسية لعمود المرفق فى مبايت خاصة فى الدعامات العرضية بالفرش Transverse-girders ويتكون المحمل من لقمتين Two shells يمكن اخراجهما بدون رفع عمود المرفق وذلك بغرض تلقيطهما أو تغييرهما .





شكل (٢ ـ ١١) .

الخلوصات: Clearances

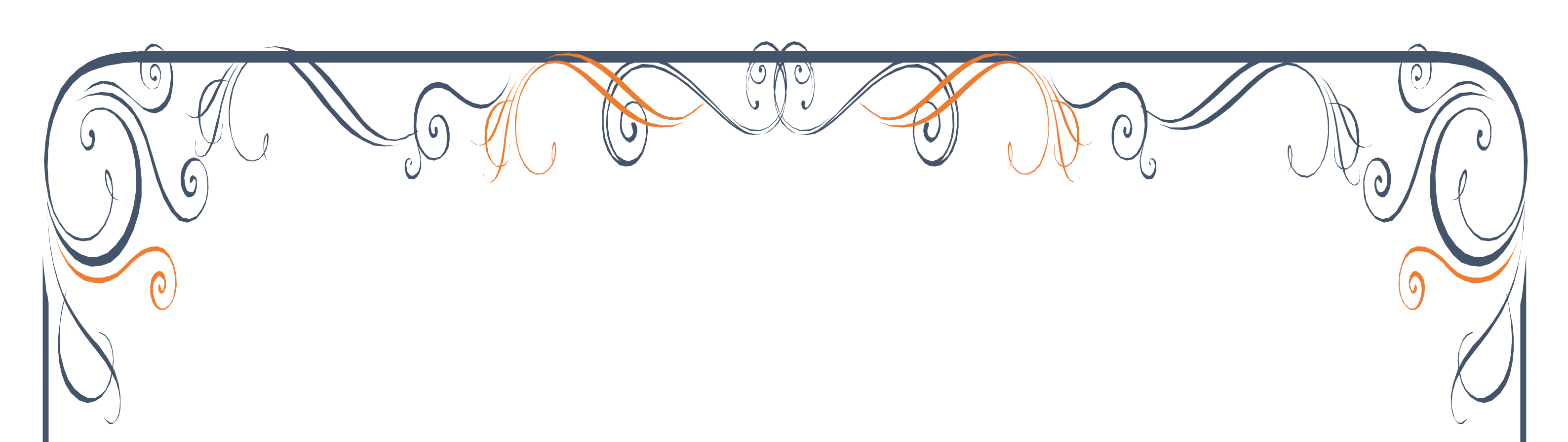
يجب أن يتواجد خلوص كاف للزيت بين البنز الدائر والكرسى ، ويتغير هذا الخلوص عادة طبقاً لقطر البنز ، وعامة يحدد الصانع خلوص الزيت المناسب بعد تجربة عملية على المحرك وذلك لعدم سخونة الكرسى عند التشغيل ، ويمكن الأخذ بأن أقل خلوص حوالى ٠,٠٠١ من القطر ولا يزيد عن ٠,٠١٥ من القطر .

وتتأثر عادة الخلوصات بـ :

درجة حرارة التشغيل ، التحميل ، صلابة قاعدة المبيت .

ويمكن قياس الخلوص بالآتى :

أ- ملاحظة معدل الزيت الخارج من نهايات الكرسى والمحرك ساخن وهى طريقة غير دقيقة وتتطلب خبرة سابقة .



ب- استخدام الفيلر وقد يصعب استخدام هذه الطريقة فى بعض الأحيان .

ج- استخدام ساعة قياس خاصة وهذه الطريقة دقيقة وتعتمد على الحركة النسبية ولكنها لا تصلح فى المحركات الكبيرة .

د- استخدام السلك الرصاص بعد رفع غطاء المحمل ، ويوضع ثلاث قطع منه ، ويؤخذ متوسط القراءات ، ويراعى أن يكون الرباط بنفس القيمة السابقة .

ملحوظة :

– يجب مراعاة أن يكون العمود محملاً تماماً على الكرسى أى أن الخلوص السفلى صفر .

– يجب مراعاة الخلوصات دورياً وتسجيلها لإمكان الرجوع إليها .

دلائل الخلوصات الغير مناسبة :

١. إذا زاد الخلوص يمكن ملاحظة زيادة الضوضاء (الصوت) وخاصة فى المحركات السريعة ، علاوة على نقص ضغط الزيت .

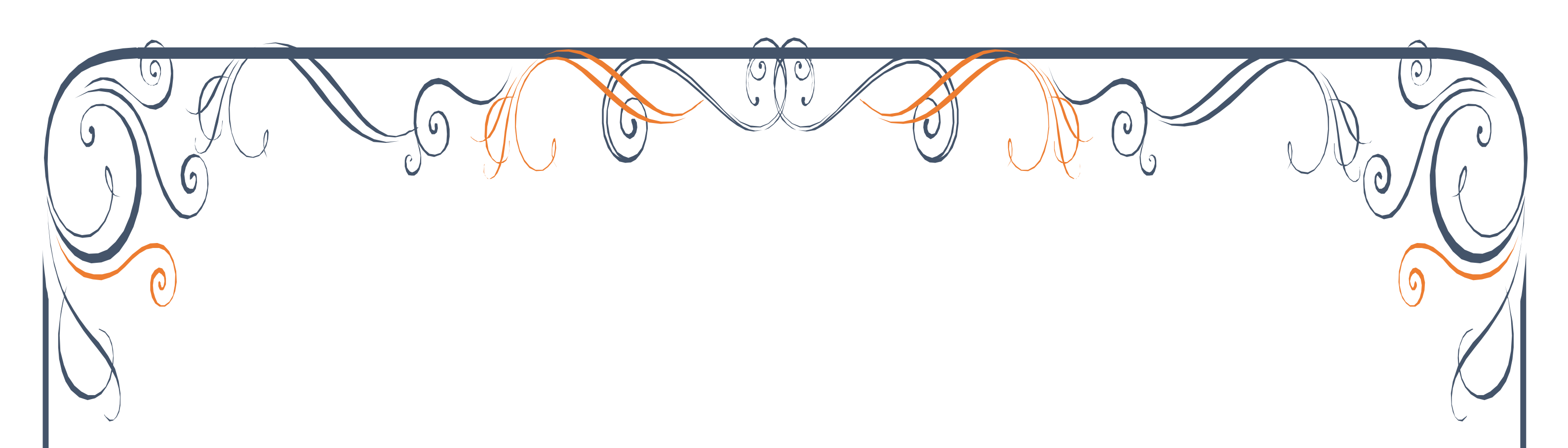
٢. إذا كان تزييت الكرسى للوحدة من نفس ماسورة تبريد المكبس فعند زيادة الخلوص يلاحظ نقص فى كمية الزيت الراجع من تبريد المكبس (بواسطة زجاجة البيان) علاوة على ارتفاع درجة حرارته .

٣. إذا قل الخلوص ، ترتفع درجة حرارة الكرسى ويكون عرضة لللحس ويظهر دخان أو ضباب يتزايد عند المكان المحدد ، وهذا قد يؤدى إلى انفجار فى صندوق المرفق Crankcase Explosion .

خواص سبائك المحامل

يجب أن يتوافر فى سبائك المحامل الخواص التالية :

- متانة متوسطة لمقاومة الأحمال مع قابلية لتغيير الشكل إذا زادت الأحمال عن حد معين .
- درجة انصهار منخفضة ، عند حدوث التزييت الحدى وبارتفاع درجة حرارة بعض النقط ، ينصهر المعدن اللين ويسير مع اتجاه الدوران بدون حدوث تلفيات فى البنز كنقط لحام أو خدش .



- القدرة على دفن الشوائب الصلبة حتى لا تسبب خدوش فى البنز .
- مقاومة التآكل حيث أن بعض معادن سبائك المحامل تتأثر بنواتج تأكسد زيوت التزييت أو أحماض الكبريت نتيجة هروب بعض غازات الاحتراق خاصة عند درجات الحرارة المرتفعة ، وأمكن التغلب على هذه الظاهرة باستخدام الإضافات لزيوت التزييت .

سبائك المحامل: Bearing-alloys

أ ــ سبيكة المعدن الأبيض White metal

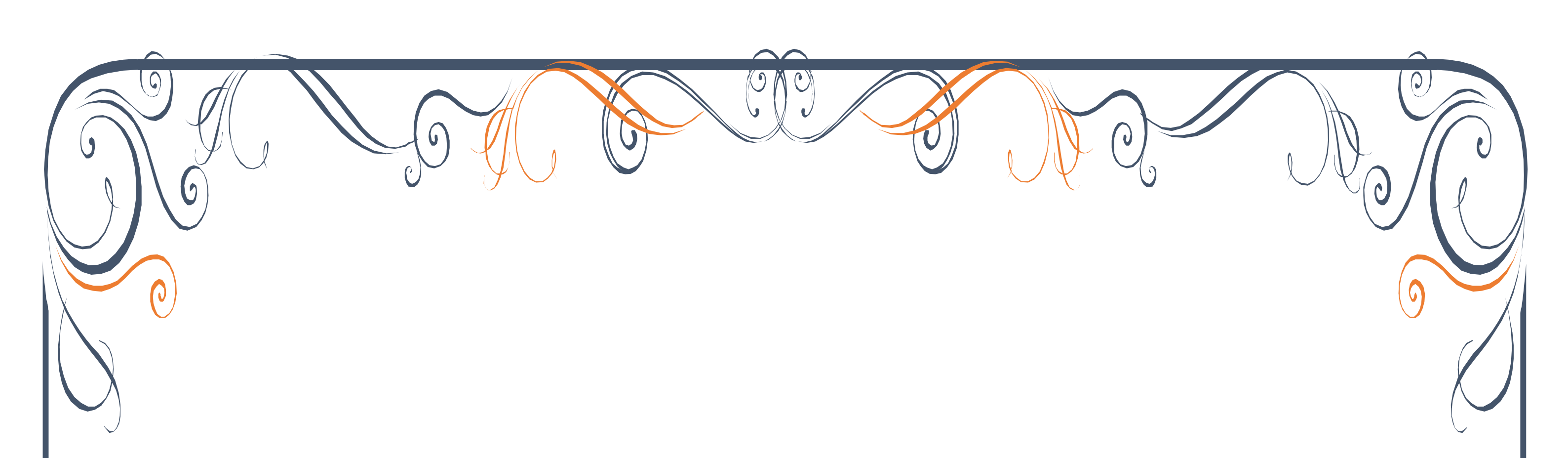
توجد نوعيات ومواصفات عديدة للمعدن الأبيض ذات القاعدة القصديرية وجميعها يرجع إلى معدن البابيت Babbit metal الذى ظهر عام ١٨٣٩ ويتكون من ٨٩,٣% قصدير ، ٨,٩% أنتيمون ، ١,٨% نحاس ، وخواص هذه السبيكة موضحة بالجدول الآتى :

Temp °C	16	75	100	130
Brinell hardness	32	20	15	9
Tensile strength	16°C		64MN/m²	
Compressive strength	16 °C		65.6 MN/m²	
Pouring tempr.			389-400C°	
Main solidification			242 °C	

ويتضح من ذلك تأثير درجة الحرارة على السبيكة ، حيث تقل الصلادة إلى ٥٠% إذا وصلت درجة الحرارة إلى ١٠٠ °م وعليه يجب الاهتمام بسريان الزيت لتحسين التبريد .

ب ــ سبيكة النحاس والرصاص : Copper – lead

تحتوى على ٢٠: ٢٥% رصاص فى قاعدة من النحاس وتسمى Rose-Metal وقد حلت هذه السبيكة محل سبائك المعدن الأبيض فى بعض المحركات الديزل (السريعة ، المتوسطة السرعة) حيث أنها ذات مقدرة أعلى لتحمل الأحمال خاصة عند درجات حرارة التشغيل الأعلى ، وتصب هذه السبيكة على اللقم الصلب وتغطى أسطح هذه السبائك بطبقة رقيقة من القصدير تقل تخانتها عن ٠,١ مم لحمايتها من التآكل .



جـ : السبيكة ذات قاعدة ألمونيوم : Aluminum base alloy

فى الأيام الأخيرة اهتمت الشركات المختصة بدراسة العديد من سبائك الألمونيوم لاستخدامها فى محامل محركات الديزل ذات ظروف التشغيل الصعبة وقد تم فعلاً التوصل إلى سبيكة تتكون من :

٧٨% المونيوم ، ٢٠% قصدير ، ١% نحاس ، ١% نيكل ، يتم صبها على اللقم الصلب ويغطى سطحها بطبقة من القصدير والرصاص . وتعتبر ذات اختيار مميز عند استعمالها لمحامل بنوز رؤوس الانزلاق لمحركات الديزل ثنائية الأشواط ذات السرعات البطيئة وذات الشحن الجبرى العالى نظراً لصعوبات التزييت .

والجدول التالى يوضح خواص معدن سبائك المحامل المختلفة :

Material	Brinell	Load Carring Capacity Kg/cm^2	Max. operating Temp.°C
Tin-Base White metal	150	56 : 109	149
Lead-Base white metal	150max	56 : 85	149
Copper-Lead	300	100:175	177
Aluminum alloy	300	280	149

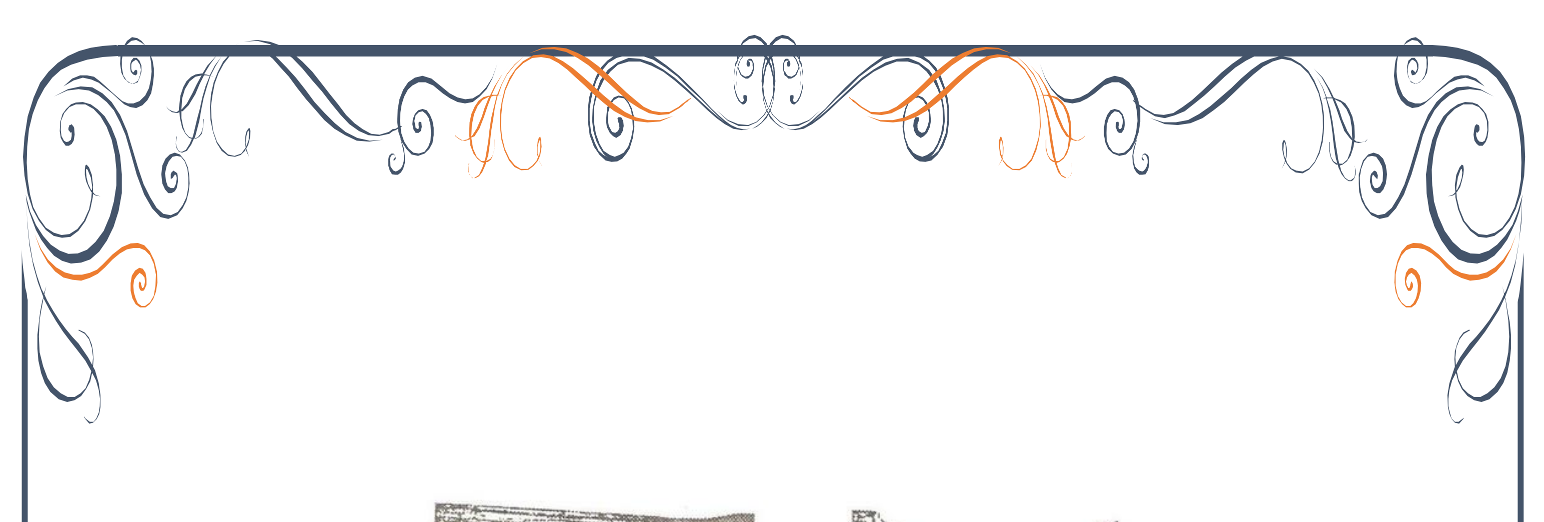
العوامل التى تؤدى إلى انهيار المحامل : Bearing failure

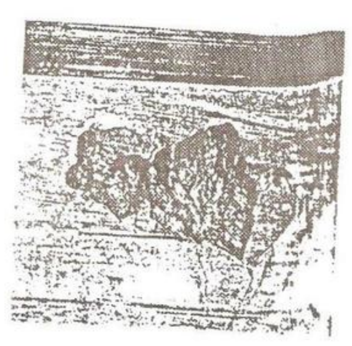
السبيكةغير المناسبة ، خلوصات مبدئية غير سليمة ، الصيانة غير كافية ، التشغيل غير صحيح من ناحية الحمل أو درجة الحرارة أو نوع الزيت أو كميته أو وجود شوائب .

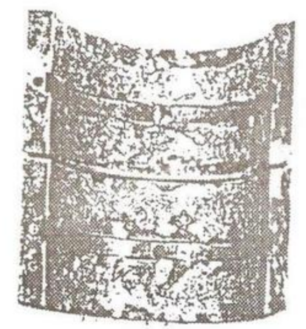
أنواع الإخفاق الشائعة : Most common failure

١ ــ الكلال : Fatigue

شكل (٢ ــ ١٢) أ ، ب يعطى صورة واضحة لانهيار سبيكة المعدن الأبيض لكرسى رئيسى لمحرك ديزل نتيجة الكلال ، ويلاحظ أن الشروخ فى المعدن تحيط بالفجوة ، وهذا الاخفاق يحدث نتيجة زيادة الخلوص والدق الشديد .



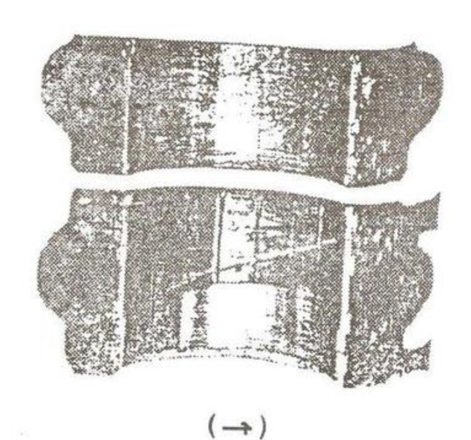




(ب)　　　　(أ)

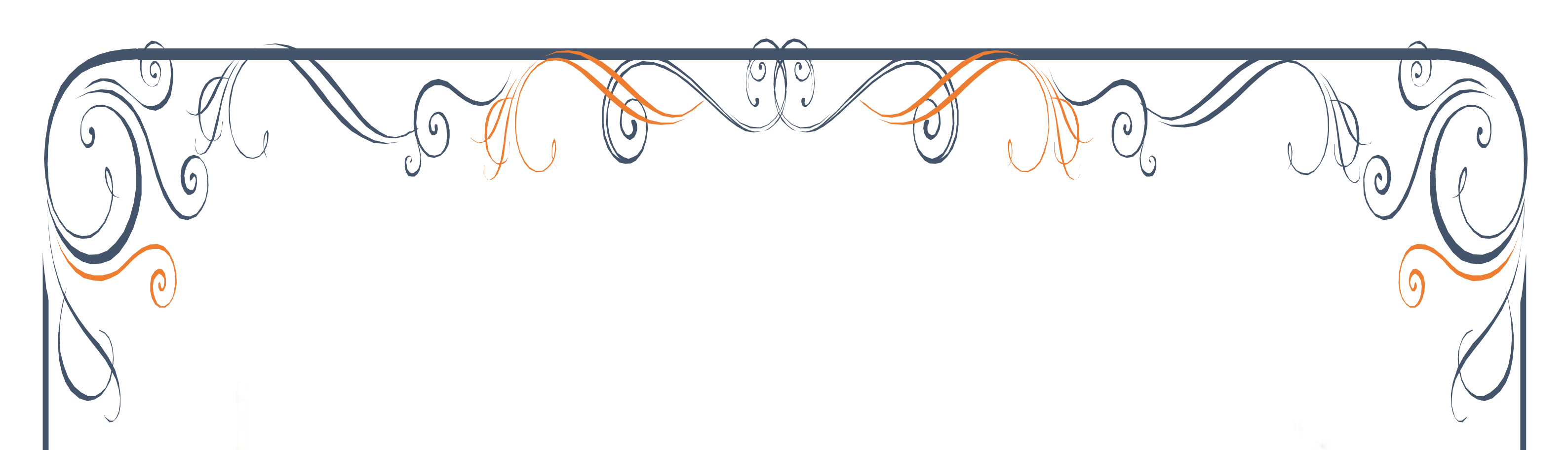
٢ ــ المسح : Wiping

شكل (٢ ــ ١٢جـ) يعطى صورة واضحة لهذا الاخفاق لكرسى بنز نهاية كبرى لمحرك ديزل كبير ويتضح كذلك عدم الاستقامة بالسطح اللامع .



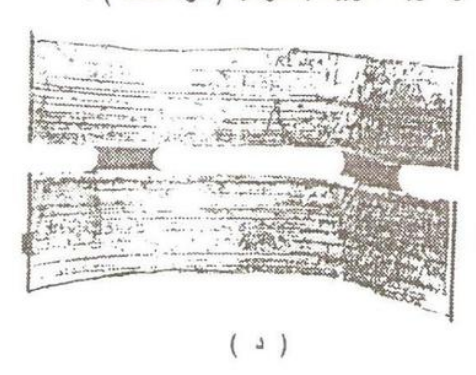
(جـ)

شكل (٢ ــ ١٢)



٣ ـ الخدش Scouring

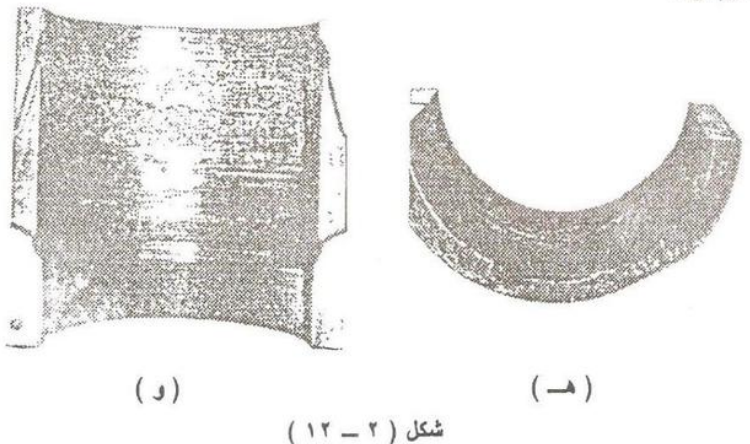
شكل (٢ ـ ١٢ د) يعطى صورة واضحة لخدش سبيكة محمل بنز النهاية الكبرى لمحرك ديزل نتيجة تلوث زيت التزييت بالشوائب (مواد حاكة) .



(د)

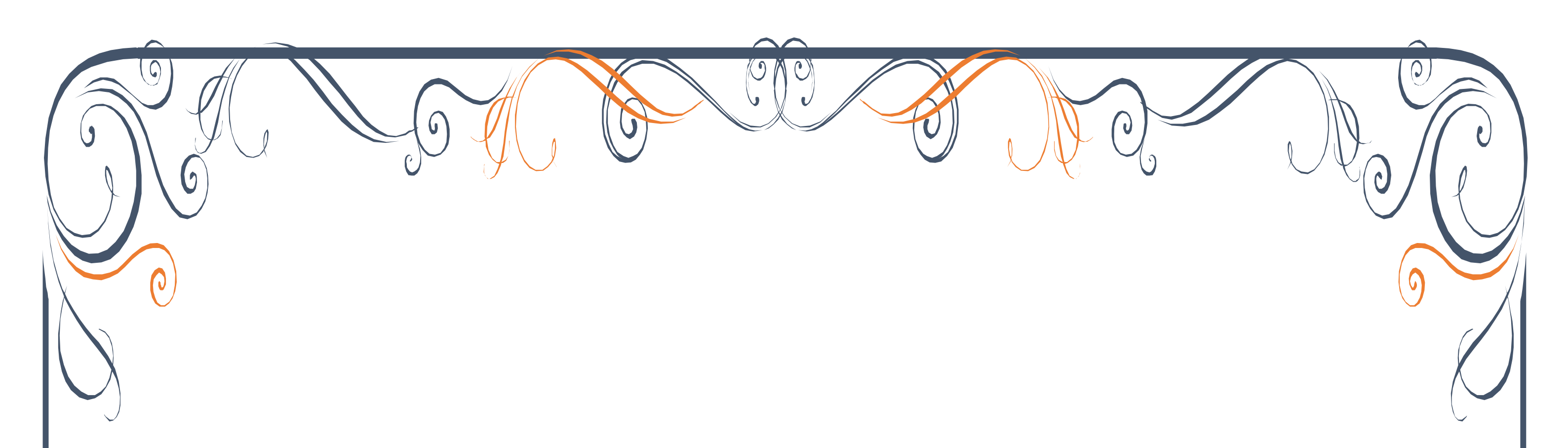
٤ ـ التآكل : Corrosion

ويظهر فى الشكل (٢ ـ ١٢ هـ) التآكل فى جلبة بنز المكبس لمحرك ديزل متوسط السرعة . كما أن شكل (٢-١٢ و) يعطى صورة واضحة لتآكل سبيكة مصنعة من المعدن الأبيض .



(هـ) (و)

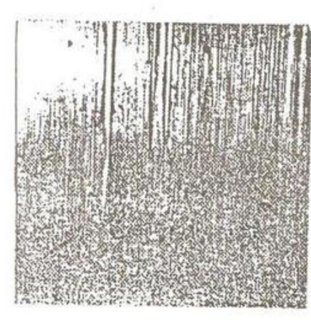
شكل (٢ ـ ١٢)



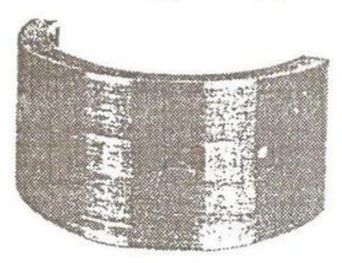
٥ ــ التنقير : Pitting

شكل (٢ ــ ١٢ ز) يعطى صورة واضحة لحدوث التنقير فى سبائك محمل مولد كهربى وتعتمد شدة التنقير على المدة ومعدل سريان التفويت الكهربى خلال المحمل .

وربما يحدث التنقير فى ظهر اللقم الصلب حيث يمر بها التيار الكهربى إلى القاعدة خلال الكرسى (٢ ــ ١٢ ح)



(ز)



(ح)

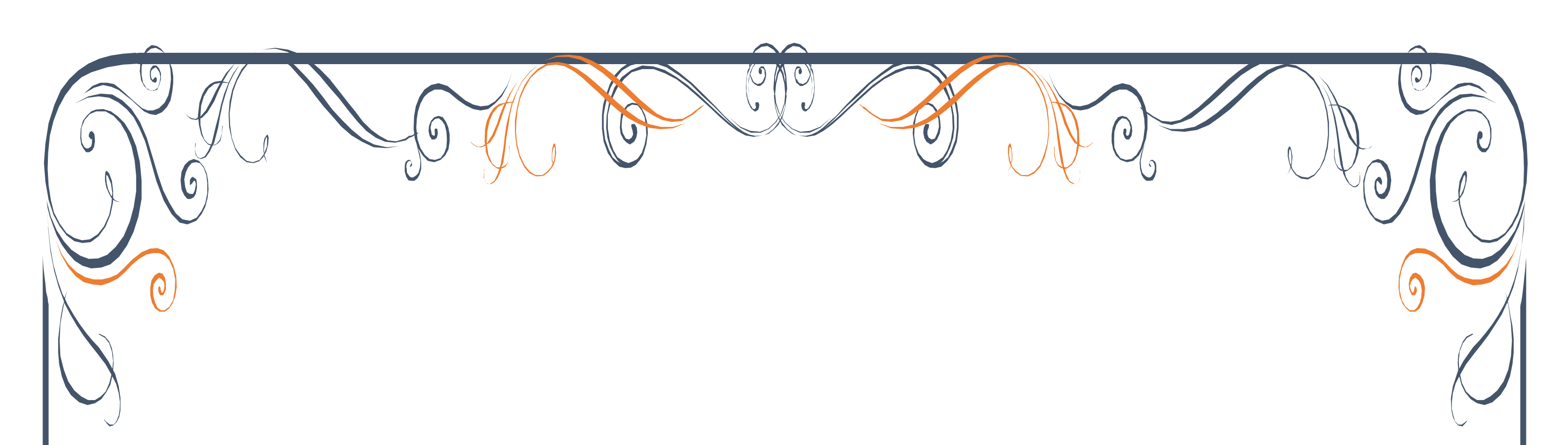
٦ ــ البرى نتيجة التكهف Cavitations erosion

ينحصر مثل هذا الاخفاق فى لقم محامل بنوز محامل النهايات الكبرى لمحركات الديزل السريعة أو المتوسطة السرعة والمعرضة للأحمال المتغيرة ، ويظهر كتجويف فى سطح السبيكة حول مجارى أو ثقوب الزيت نتيجة انفجار فقاعات الهواء أو الغاز الهاربة من طبقة الزيت عند ظروف معينة . شكل (٢ ــ ١٢ ط)



(ط)

شكل (٢ ــ ١٢)



٢ ـ ٢ ـ ٥ كرسى الدفع : Thrust block

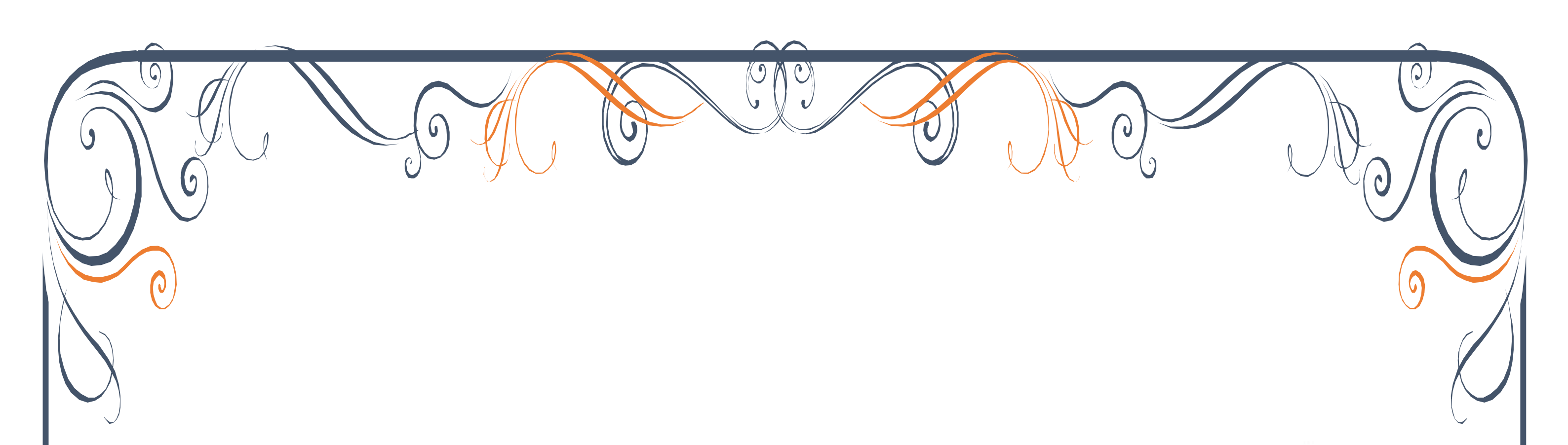
الغرض من كرسى الدفع :

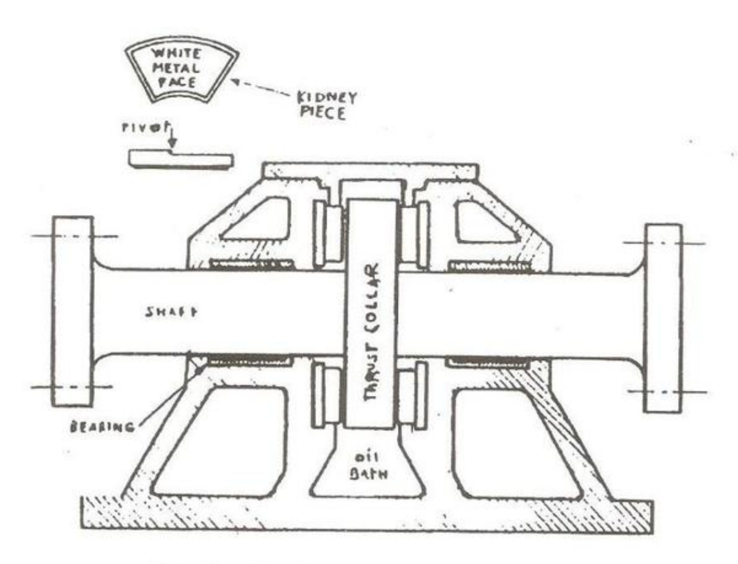
يوجد كرسى دفع رئيسى لكل محرك رئيسى وهو عبارة عن الوصلة الرئيسية بين المحرك الرئيسى وعمود الرفاص المتصل بها . يقوم هذا الكرسى بنقل الدفع الناتج عن دوران الرفاص من خلال عمود الرفاص إلى عمود الكرسى ثم إلى جسم الكرسى المثبت باحكام فى هيكل السفينة فينتقل الدفع بدوره إلى بدن السفينة مما يسبب دفعها للأمام أو الخلف حسب اتجاه دوران الرفاص .

وفى حالة المحركات الديزل الرئيسية ذات الاتصال المباشر بالرفاص فُضل وضع كرسى الدفع داخل المحرك وذلك لنقل قوة الدفع إلى الفرش ومنه إلى بدن السفينة وفى هذه الحالة يتم التزييت من منظومة زيت المحرك نفسه .

وصف الكرسى : (شكل (١٢ ـ ١٣)

- يتكون الكرسى من عدة أجزاء والجزء الرئيسى للكرسى عبارة عن عمود من وصلتين بينهما قرص الدفع Thrust-Collar وهذه المجموعة عبارة عن كتلة واحدة ويتصل طرفيها بفلانجتين للرباط من ناحية فى عمود الرفاص أو العمود المتوسط والأخرى متصلة بالحدافة ، ويصنع هذا العمود عادة من نوع جيد من الصلب .
- الجزء الخارجى عبارة عن غلاف مصبوب ويتكون من جزئين الغطاء والقاعدة ويثبت الغطاء على قاعدة الكرسى بواسطة مسامير رباط ويوجد على هذا الغطاء كاشط Scraper وظيفته ضمان حسن توزيع الزيت بطريقة منتظمة ومتجانسة .
- الجزء السفلى من الغلاف (قاعدة الكرسى) يمثل خزان الزيت ويزود بزجاجة بيان للتأكد من مستوى الزيت ومروره بانتظام خلال الكرسى وهذا الزيت يدخل للكرسى إما كجزء من دائرة التزييت للماكينة الرئيسية أو من دائرة منفصلة كما فى بعض أنواع السفن .





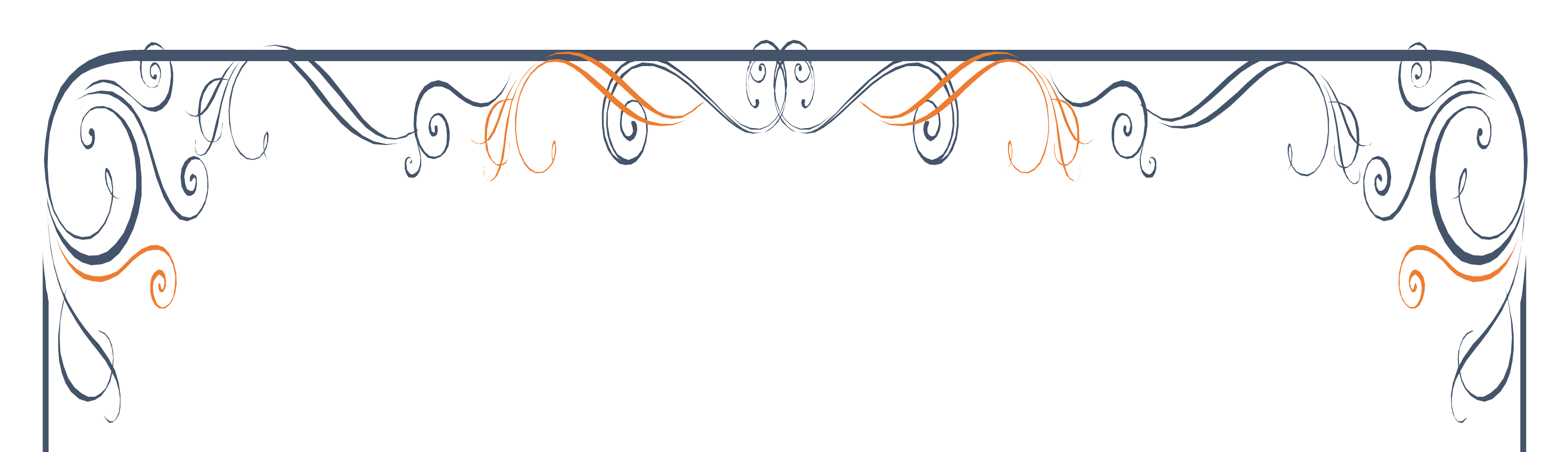
شكل (٢ ــ ١٣) Single collar thrust block

ــ يوجد حول خزان الزيت ملفات لمرور المياه المالحة لتبريد الزيت وبالتالى تبريد الكرسى وخفض درجة حرارته .

ــ يحاط قرص الدفع من الجانبين بجزئين يركبان فى الداخل ويكونان علــى شــكل حدوة الحصان ، وهذه الأجزاء تكون مصنوعة من الصلب المطــروق بطريقــة معينة بحيث يمكن تركيب اللقم فيها وتثبت هذه اللقم Pads محيطيــاً بواســطة موانع Stopper لا تسمح لهذه اللقم بالحركة من مكانها ولكنهــا تســمح لهــا بالتأرجح بزاوية معينة فى مكانها لتساعد على تكوين طبقــة الزيــت اللازمــة Pivot .

ــ يدور عمود الكرسى على كرسيين للتحميل Journal -Bearing وهذين الكرسيين موجودين على جانب العمود ويتم تزييت هذين الكرسيين من الزيــت الموجــود داخل الكرسى ويتم بواسطة طرطشة الزيت ووصوله إلى هــذه الكراســى عــن طريق الممرات الموجودة فى الكراسى .

ــ اللقم تكون على شكل كلوى Kidney سطحها الأمامى مستوى تمامــاً ومغطــى



بطبقة مناسبة من المعدن الأبيض كسطح تحميل وذلك لأن إجهاد الخضوع لهذا المعدن حوالى ٥٦٠ بار ومعامل احتكاكه بسيط حوالى ٠,٠٠٣ وهذا السطح هو الذى يلامس قرص الدفع ، أما السطح الخلفى للقمة فعبارة عن مستويين وذلك حتى يمكنها التأرجح Tilting فى مكانها ويكون الخط الفاصل بين المستويين من ١/٢ — ٢/٣ طول اللقمة وحتى يسهل مرور الزيت وتكون الطبقة اللازمة بين اللقمة والقرص حتى لا يحدث احتكاك مباشر بينهما وترتفع بذلك درجة حرارة الكرسى .

— تتواجد هذه اللقم من مجموعتين مجموعة لنقل الحركة للأمام ومجموعة لنقل الحركة للخلف ويكونان متشابهين تماماً ويمكن استعمال إحداهما مكان الأخرى .

— يوجد على الجزء الحامل للقم Horse Shoe من الخلف مكان يركب عليه لينات وذلك لاعادة ضبط الخلوص إلى الحدود المسموح بها .

<u>نظرية العمل :</u>

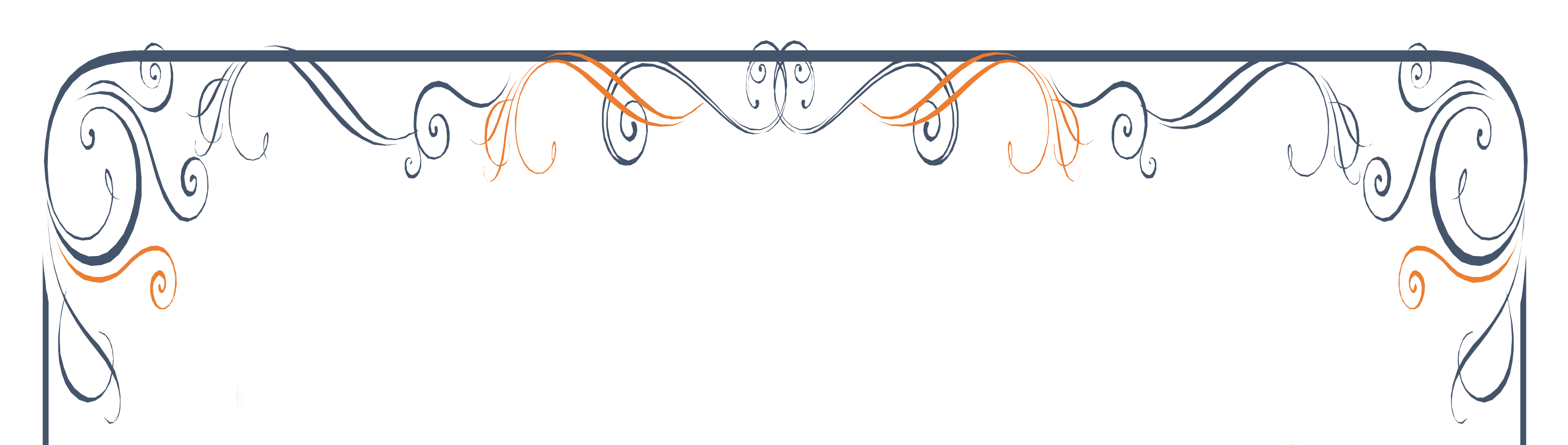
— عند دوران الرفاص يتولد دفع وينتقل هذا الدفع من الرفاص إلى عمود الرفاص ومنه إلى قرص الدفع عن طريق عمود الكرسى الرئيسى وينتقل هذا الدفع من خلال القرص عن طريق طبقة الزيت الموجودة إلى اللقم ومنها إلى الغلاف الخارجى للكرسى ثم إلى بدن السفينة عن طريق أماكن تثبيت الكرسى على البدن مما يؤدى إلى دفع السفينة للأمام أو الخلف حسب الحركة المعطاة للأمام أو الخلف .

— نتيجة لدوران قرص الدفع بسرعة عالية يتم تزييت الكرسى بالطرطشة Splash ويتم توزيع الزيت بطريقة متجانسة ومنتظمة بواسطة اللوح الحاجز Scraper الموجود على الغطاء .

<u>قياس وضبط الخلوص :</u>

<u>يتم ضبط وقياس الخلوص للكرسى كالآتى :</u>

١ — يتم وضع الكرسى فى وضع الحركة للأمام أو الخلف بواسطة إما ذراع المناورة أو تروس التقليب .



٢ ــ يتم رفع غطاء الكرسى العلوى .
٣ ــ بواسطة الفيلر Feeler يتم قياس قيمة الخلوص بين القرص واللقم من مكانين كلما أمكن ذلك سواء للأمام أو للخلف .
٤ ــ يجمع مقدار الخلوصين للأمام والخلف فيكون هو الخلوص المطلوب قياسه .
٥ ــ إذا زاد الخلوص عن الحدود المسموح بها يمكن إعادة ضبط الخلوص بواسطة وضع لينات مناسبة وتثبيتها .
٦ ــ إذا زادت الخلوصات بدرجة كبيرة يمكن استبدال اللقم بلقم أخرى جديدة .
٧ ــ التآكل فى اللقم الأمامية دائماً أكثر من التآكل فى اللقم الخلفية .
٨ ــ الخلوص بين اللقم والقرص يكون حوالى ١ ملم لعمود قطره (٥٠٠ ملم) .

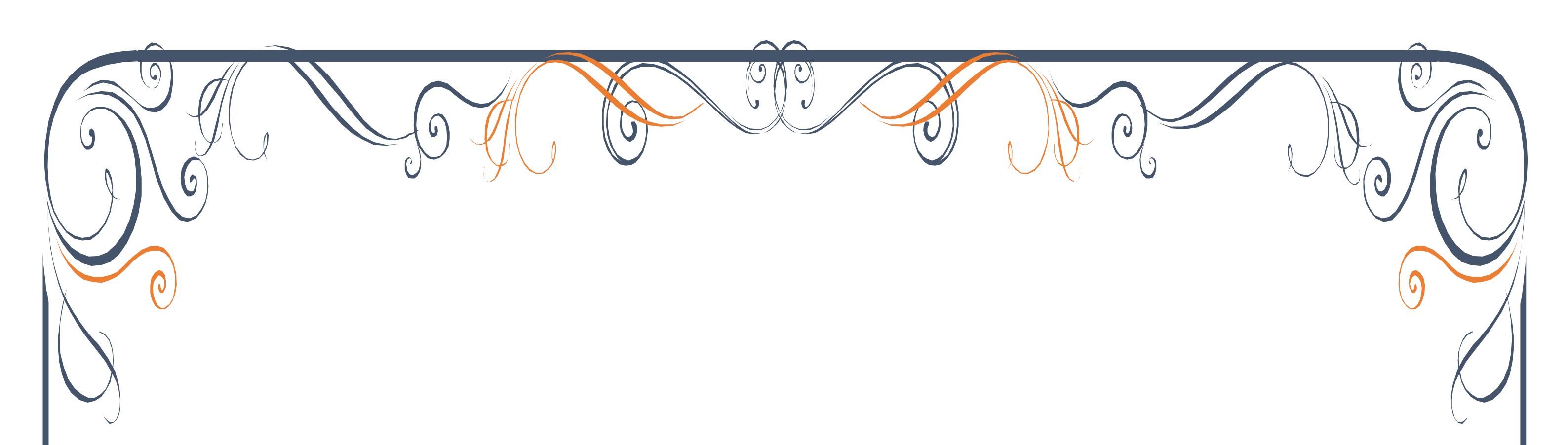
<u>الأسباب التى تؤدى إلى عدم صلاحية اللقم :</u>

١ ــ حدوث تآكل فى طبقة المعدن الأبيض يصل إلى نصف سمكه الأصلى .
٢ ــ وجود تآكل فى حامل اللقم أى خط المستويين غير محدد .
٣ ــ وجود بخبخه أو عيوب فى التصنيع فى طبقة المعدن الأبيض نتيجة الصب .

٢ ــ ٢ ــ ٦ : تثبيت المحرك الرئيسى فى السفينة Engine mounting in ship

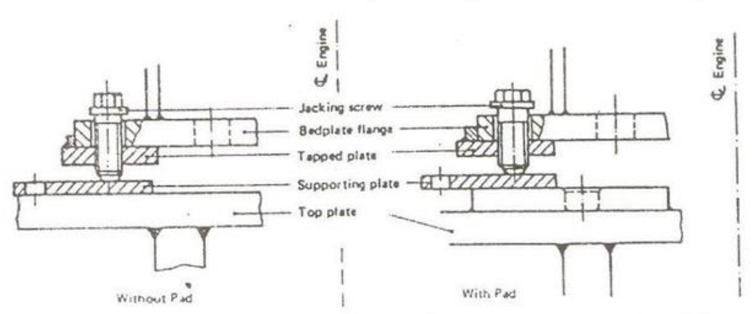
يقوم مصمم السفينه عادة بعمل التقويات اللازمة للمكان الذى سيثبت فيه المحرك الرئيسى واضعاً فى اعتباره النقاط التالية :

١ ــ أن دفع الرفاص سيتم نقله إلى بدن السفينة عن طريق أساس المحرك (جسم كرسى الدفع) .
٢ ــ أن القوى الناتجة عن ضغط الغازات والمؤثرة على جسم المحرك تعمل على تحريكه من مكانه .
٣ ــ أن المحرك الرئيسى عبارة عن جسم ذات كتلة هائلة ومثبتة على بدن السفينة تتأثر بحركة السفينة الطولية والعرضية ، وهذا بدوره يؤثر على مكان تثبيته .
٤ ــ أن العزم المتولد عن تشغيل المحرك الترددى ليس ثابتاً بل دورياً فيعتبر مصدر للاهتزازات وخاصة عند نقط التثبيت ، لذلك يجب أن يكون هذا المكان ذات صلابة كافية لتقليل تردد هذه الاهتزازات .



وقد روعى امتداد التقويات خارج مقاسات فرش المحرك الديزل لتوزيع الاجهاد على مساحة أكبر ، كما يراعى استقامة السطح ليتلاءم مع السطح السفلى للفرش .

يتم تثبيت عمود المرفق فى مكانه بالفرش مع ضبط استقامته تماماً خارج السفينة ثم تتم عملية الانزال بالسفينة ، ويستعان مؤقتاً بالروافع الهيدروليكية Jack-bolts لضبط الاستقامة مع عمود الرفاص كما يتضح من شكل (٢ ــ ١٤) .



Jackscrews to support engine bedplate during erection (Sulzer

شكل (٢ ــ ١٤)

فى الوقت نفسه بعد تثبيت الفرش فى مكانه وتعويم السفينة وعمل الاستقامة اللازمة مع عمود الرفاص ، يتم قياس المسافات بين الفرش وسقف الصهريج ، وتجهز القواعد المناسبة Chocks وتوضع فى مكانها لتتحمل الفرش بدلاً من مسامير الضبط ، ويبدأ التثبيت التام بالمسامير ــ الفرش مع القواعد مع سقف الصهريج ، وفى حيز كرسى الدفع يجب أن تكون المسامير محضنة تماماً مع الثقوب وذلك للنقل الجيد لدفع الرفاص إلى بدن السفينة .

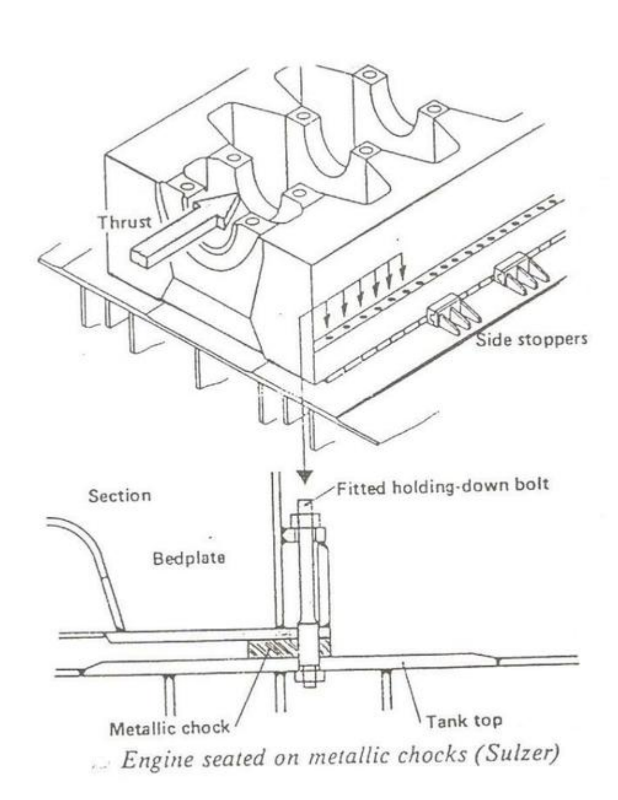
ويوجد نوعين من السنادات :

أولاً :السنادات المعدنية Metalic chocks

تصنع من الحديد الزهر أو الصلب ، وتجهز بالسمك المناسب حيث توضع بين قاعــدة



الفرش وسطح الصهريج لتضمن استقامة عمود المرفق مع عمود الرفاص ، ويراعـــى أن يكون سطح التلامس كافياً لتحمل الحمل ، وبعد الرباط يجب ألا يكون هناك أى حركة نسبية شكل (٢ ــ ١٥)



Engine seated on metallic chocks (Sulzer)

شكل (٢ ــ ١٥)

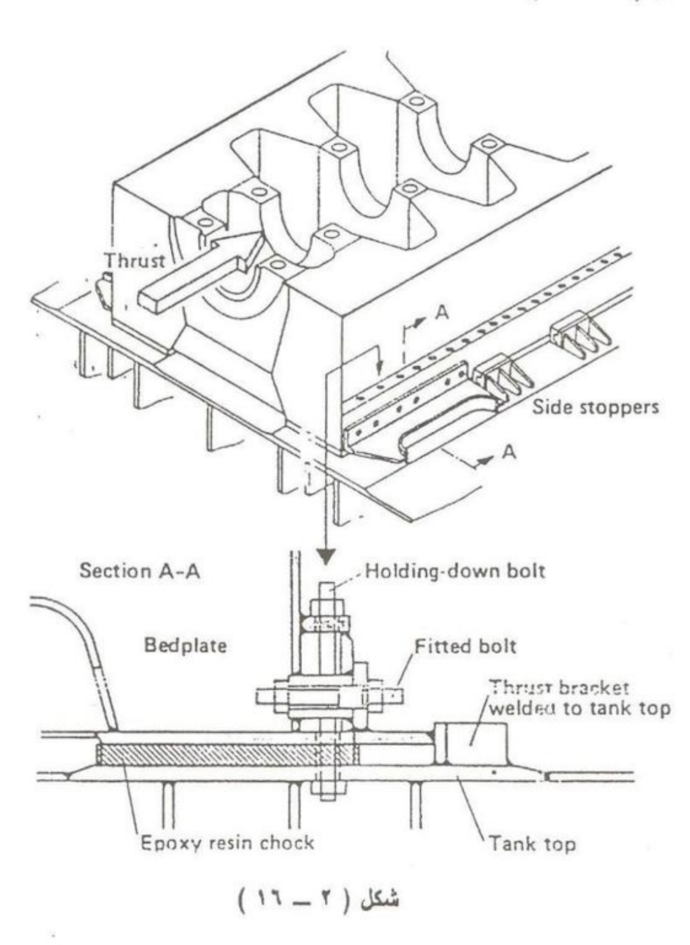




ثانياً : السنادات الغير معدنية والمخلقة صناعياً :

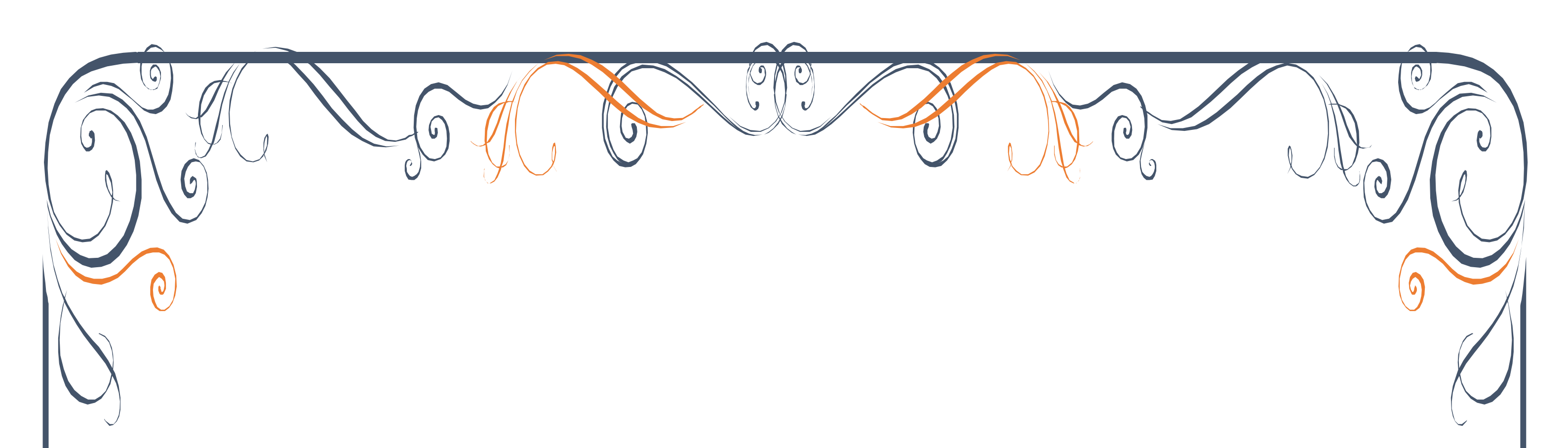
Epoxy Resin Pourable Chocking

ظهر حديثاً استخدام السنادات الغير معدنية والمخلقة صناعياً من مادة الراتنج ، حيث يتم صبها فى المكان المعد لها وتتميز بعدم الانكماش ، وقد أعطت نتائج جيدة فى الاستخدام حيث أنها تملأ الحيز بين الفرش وسطح الصهريج المزدوج وبمساحة أكبر ، فتعطى نتائج أفضل شكل (٢ ـ ١٦) .



شكل (٢ ـ ١٦)

نسألكم من صالح الدعاء



ويمكن إيجاز المزايا فى النقاط التالية :

١ ــ تجنب حدوث حركة نسبية للفرش وعدم تعرض مسامير الرباط للكسر .

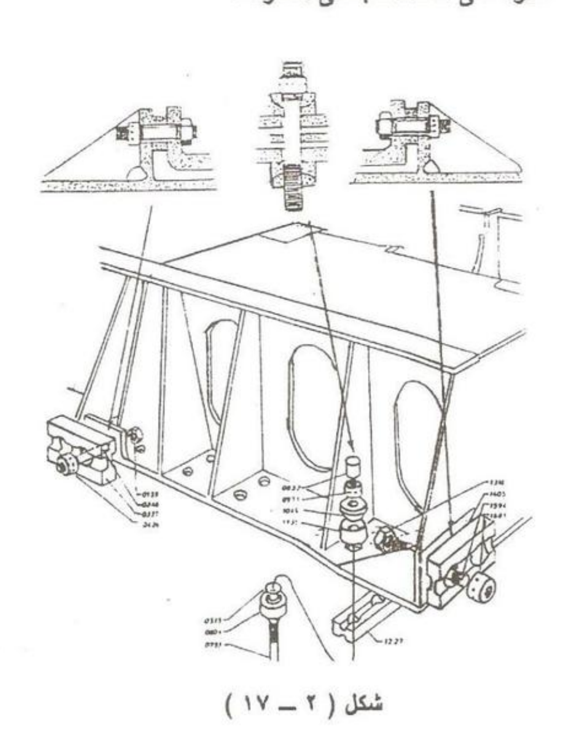
٢ ــ تجنب حدوث حركة نسبية وعدم حدوث تآكل بالجسم Fretting .

٣ ــ عدم الاحتياج لتكرار إعادة الرباط من حين لآخر ، والذى يعتبر عمل شاق .

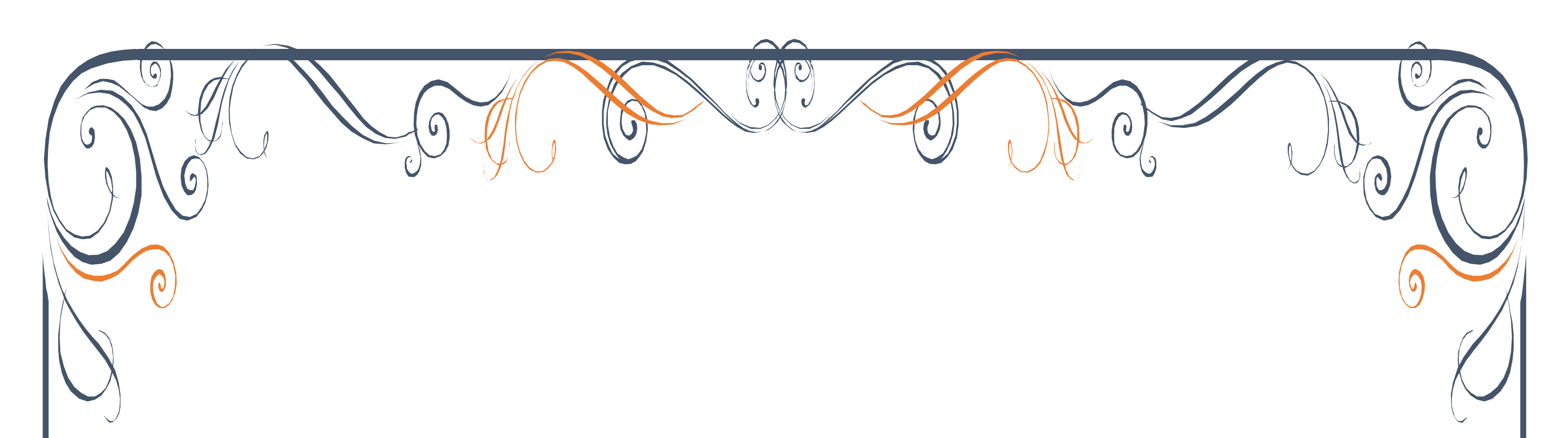
٤ ــ ليس من الضرورى استخدام المسامير الطويلة والضرورية فى حالة استخدام السنادات المعدنية .

٥ ــ يمكن استخدام المفتاح العادى فى الرباط بدلاً من المفتاح الهيدروليكى .

ملحوظة : لمنع التحرك الخفيف الطولى أو العرضى للمحرك بالنسبة لسقف القاع المزدوج تستخدم سنادات Bracket توضع عند نهايات الفرش طولياً وعرضياً لتلقى الدفع الطولى أو العرضى من المحرك شكل (٢ ــ ١٧) وهذا علاوة على الشدادات بأعلى المحرك .



شكل (٢ ــ ١٧)



مسامير التثبيت : Holding-Down Bolts

يتم رباطها فى موضعها هيدروليكياً للدرجة الصحيحة بعد وضع وسائل الإحكام لضمان عدم التسريب ، ولزيادة مرونتها أو القدرة على تحمل حمل أكبر ، روعى زيادة طولها ويتضح ذلك من الشكل (٢ ــ ١٦) ولذا يشكل مع سطح الفرش طبلية بالجوانب يتم فيها التثبيت ، كما يتم وضع مسامير عرضية Fitted Bolts لمنع تأثير الذبذبة .

الفحوص التى يجب أن تجرى على الفرش دورياً :

- اجراء اختبار طرقى على الصواميل والمسامير سواء الشدادة أو مسامير الرباط والتأكد من سلامة الرباط وعدم كسرها .
- التأكد من عدم وجود أى شروخ وخاصة تحت المحامل الرئيسية فى الدعامات العرضية وأماكن اللحام ومواسير الزيت .
- التأكد من عدم وجود برادة تحت السنادات والتى توحى بوجود حركة نسبية للمحرك .
- مراجعة استقامة عمود المرفق للتأكد من عدم حدوث تشوه للفرش وضمان سلامة التشغيل .
- يفضل الكشف على أحد الكراسى وقياس الخلوص .

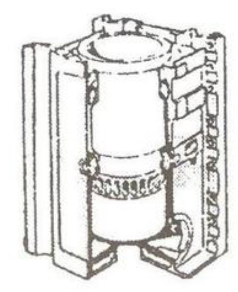
٢ - ٣ جسم الاسطوانة والقميص

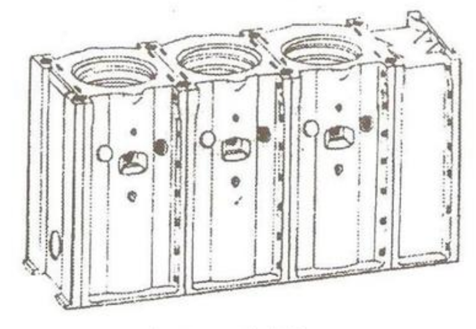
Cylinder Jacket & Liner

٢ ــ ٣ ــ ١ : جسم الاسطوانة Cylinder Jacket

شكل (٢ ــ ١٨) يصنع جسم الاسطوانات من الحديد الزهر أو الصلب إما كتلة واحدة تشمل جميع الاسطوانات أو تصب كل اسطوانه على حدة وتربط مع بعضها ويثبت كل على الهيكل ، والجسم المصنع من قطعة واحدة يعتبر أكثر صلابة وأخف وزناً . ويحتوى جسم الاسطوانات على ممرات لتبريد المياه ، وكذلك على فتحات لنظافة الحيز من القشور والأملاح المترسبة ، وأخرى لتثبيت الطلمبات المتصلة وعمود الكامات وخلافه ، ويراعى عند رفع القميص نظافة حوارى المياه واختبار السطح الداخلى من ناحية حدوث أى تآكل .







شكل (٢ ــ ١٨)

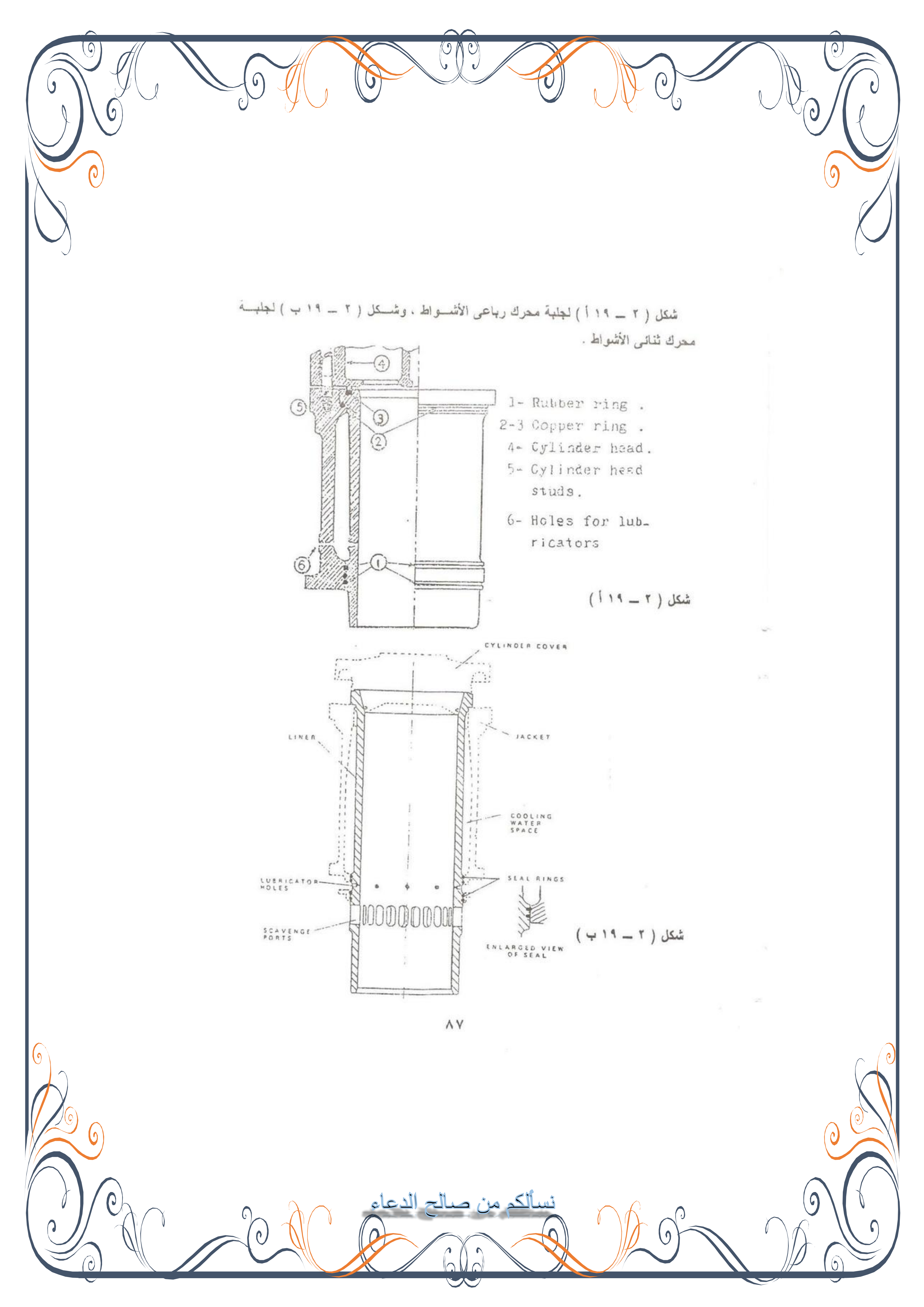
٢ ــ ٣ ــ ٢ : القميص أو الجلبة Cylinder Liner

يحدد القميص مع رأس الاسطوانة والمكبس غرفة الاحتراق ، ويعتبر القميص دليل المكبس وجدار الاسطوانه وينقل القوى الجانبية الناتجة من ضغط الغازات إلى الجسم فى حالة المكابس الجزعية ، ويتم انتقال جزء من الحرارة المتولدة إلى مياة التبريد المحيطة به

ويشترط فى المعدن المصنع منه القميص مقاومته للاجهادات العالية نتيجة اختلاف درجات الحرارة والضغوط ، علاوة على مقاومته للاحتكاك الناتج من حركة شنابر المكبس ، أى له القدرة على الاحتفاظ بطبقة من زيت التزييت وكذلك جودة التوصيل الحرارى .

ويصنع القميص من الحديد الزهر المخصوص المتلاصق الحبيبات والذى يتميز بمقاومته للبرى Wear .

شكل (٢ ــ ١٩ أ) لجلبة محرك رباعى الأشــواط ، وشــكل (٢ ــ ١٩ ب) لجلبــة محرك ثنائى الأشواط .



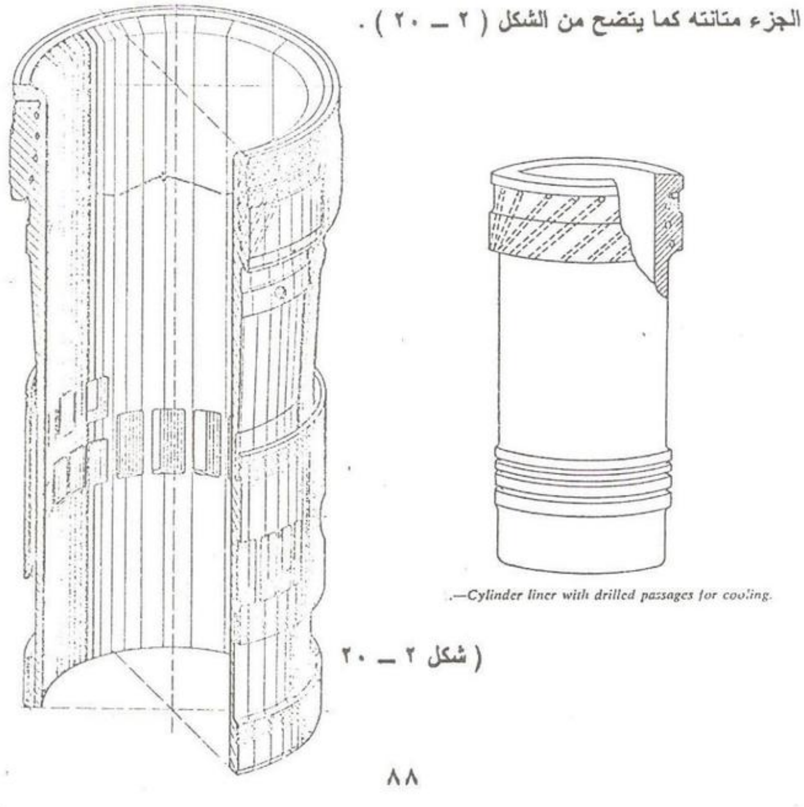
شكل (٢ ــ ١٩ أ)

شكل (٢ ــ ١٩ ب)



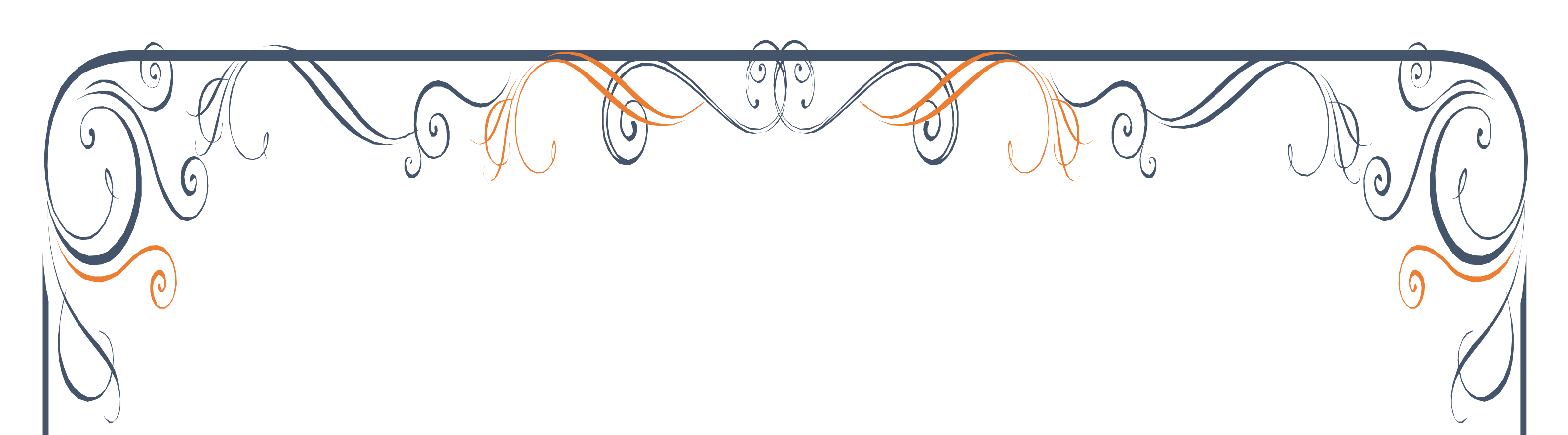
يرتكز القميص على شفة بأعلى جسم الاسطوانة ويستند على دليل بأعلى وأسفل ، وله حرية التمدد لأسفل عند ارتفاع درجة حرارته ، وتحاط بمياة التبريد الجارية من أسفل إلى اعلى ، ولذا يلزم إحكام الحيز من أسفل بحلقات من المطاط لمنع تسرب المياه ، وفى حالة وجود بوابات للعادم يلزم استخدام حلقات نحاسية بالقرب من الغازات يليها حلقات مطاط ، ولاحكام الحيز من أعلى يتم تحضين سطح الارتكاز تماماً مع الجسم أو توضع حلقة نحاسية ، ولإحكام حيز الاحتراق مع غطاء الاسطوانه تستخدم نفس الطريقة ، ويطلى القميص من الخارج بدهان مانع للصدأ .

ولتقليل الاجهادات الحرارية الواقعة على القميص وخاصة فى المحركات ذات الأقطار الكبيرة ، استخدمت فكرة التبريد القطرى Bore-cooling فى الجزء العلوى المعرض للاجهادات الميكانيكية والحرارية العالية وهى عبارة عن اصطلاح مقصود به عمل ثقوب صغيرة مائلة تجرى فيها مياة التبريد ، فتعمل على تحسين كفاءة التبريد وبدون أن يفقد الجزء متانته كما يتضح من الشكل (٢ ــ ٢٠) .



.—Cylinder liner with drilled passages for cooling.

(شكل ٢ ــ ٢٠



البرى فى القميص Cylinder Liner Wear

للاحتفاظ بأقل معدل برى يجب مراعاة الآتى :

- التزييت الصحيح من ناحية الكمية والنوع والتوقيت .
- تسخين المحرك قبل بدء التشغيل .
- التركيب المضبوط لحلقات المكبس مع الاحتفاظ بالخلوصات المناسبة .
- توقيت الحقن المضبوط والاحتراق الجيد .
- اختيار معدن الحلقات الذى يتلاءم مع معدن الجلبة .

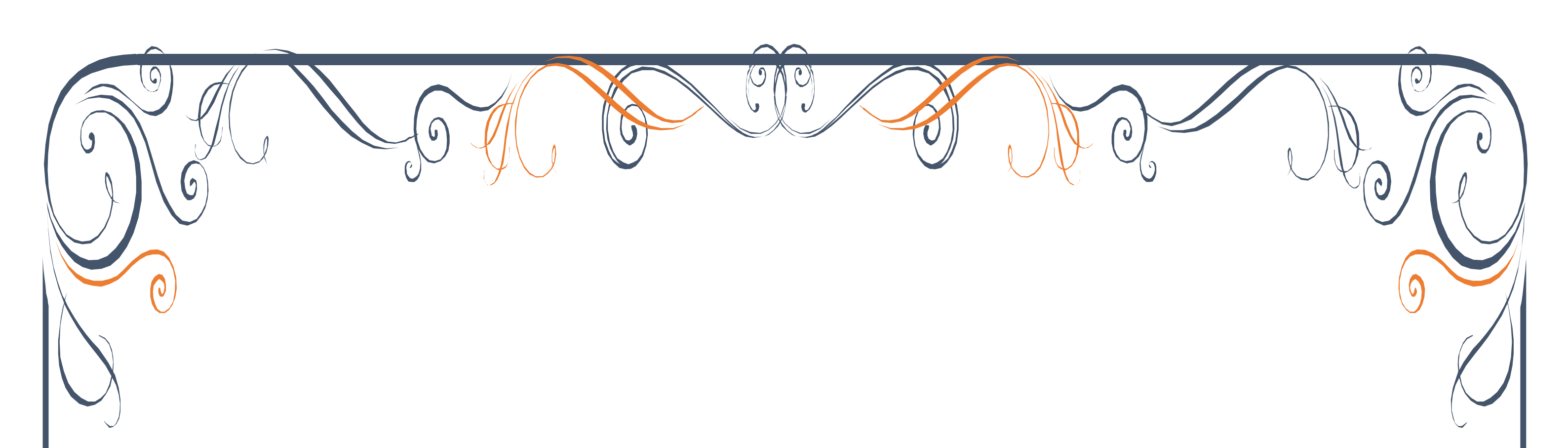
وبالرغم من مراعاة جميع النقاط السابقة ، فإن إدخال الوقود الثقيل للاستخدام فى محركات الديزل عمل على زيادة معدلات البرى Wear-Rate فى الاسطوانات وتسبب فى كسر الحلقات ، وعليه استدعى الأمر استخدام معادن جديدة للقمصان مثل سبائك الحديد الزهر التى تحتوى على الفانديوم والتيتانيوم وتميزت بتقليل معدل البرى إلى ٠,١ مم / ١٠٠٠ ساعة تشغيل ، والطريقة الأخرى لتقليل البرى هى استخدام الطلاء بالكروم للسطح الداخلى للقميص ، ولكن هذا يفقد المسامية أى الاحتفاظ بطبقة الزيت ولكن تم التغلب على هذا العيب بعمل جيوب صغيرة Minute cavities على السطح وذلك باستخدام محلول خاص وعكس الأقطاب الكهربية .

ولكن فى الآونة الأخيرة تم تقليل معدل البرى إلى حوالى من ٠,٠٢ : ٠,٠٤ مم / ١٠٠٠ ساعة تشغيل فى المحرك Z 40 / 48 المتوسط السرعة ، هذا بالرغم من التشغيل على الوقود الثقيل ذات لزوجة ٣٥٠٠ ثانية ريدوود عند ١٠٠ ° ف ، وقد تم الأداء بضغط متوسط فعال عالى ، وضغط احتراق ١٦٠ بار هذا مع رفع درجة حرارة مياة التبريد الخارجة إلى ١٣٠° م ، وقد وصلت قدرة الاسطوانة إلى ١٠٠٠ حصان ، ومعدل استهلاك الزيت (شاملاً الفقد فى المنقيات) ٠,٤٠ : ٠,٦ جم /كيلووات.ساعة .

٢ ـ ٣ ـ ٣ تزييت الاسطوانات : Cylinder lubrication

الغرض الأساسى من تزييت الاسطوانة هو :

- ضمان التشغيل السليم للمكبس ، وذلك بفضل تغطية الأسطح المنزلقة على بعضها بطبقة من الزيت لها وجود مستمر لتقليل الاحتكاك والبرى .



ــ عمل إحكام لمنع تسرب غازات الاحتراق بين الحلقات والاسطوانه .

ــ معادلة نواتج الاحتراق الحمضية (فى حالة استخدام الوقود الثقيل) أى حماية القميص أو الشنابر من التآكل Corrosive Attack .

ــ جعل الرواسب الكربونية أقل صلابة (هاشة) لتقليل البرى بالحك Abrasion مع إزالتها وتشتيتها ، وذلك لمنع قفش الحلقات بالمجارى Piston ring seizure .

ــ المساعدة على تبريد الأسطح مما يجعل زيت التزييت يعمل لمدد أطول .

وتعتمد كمية زيت تزييت اسطوانة المحرك اللازمة والمستهلكة لوحدة القدرة والزمن Sp .L.O.C. على :

المشوار ــ القطر ــ السرعة ــ الحمل ــ درجة حرارة الاسطوانه ــ نوع المحرك ــ نوع الوقود ــ مكان المزايت .

ويمكن القول بأنها حوالى . Sp . L.O.C. = 0.6 g /K.W.h

وعندما يكون المحرك جديداً ، يزيد هذا المعدل وذلك لأن الأسطح الخشنة ترفع درجة الحرارة وتسبب تأكسد نسبة أكبر من الزيت ، كما أن إحكام الأسطح الخشنة أكثر صعوبة ، بالإضافة فإن معدل التزييت الأعلى يساعد على غسل الأسطح من نواتج الاحتكاك .

ويجب أن يكون معدل التزييت مناسباً حيث أن المعدل الأقل يسبب :

ــ زيادة معدل البرى فى كل من القميص وحلقات المكبس .

ــ زيادة تآكل القميص عند استخدام الوقود الثقيل .

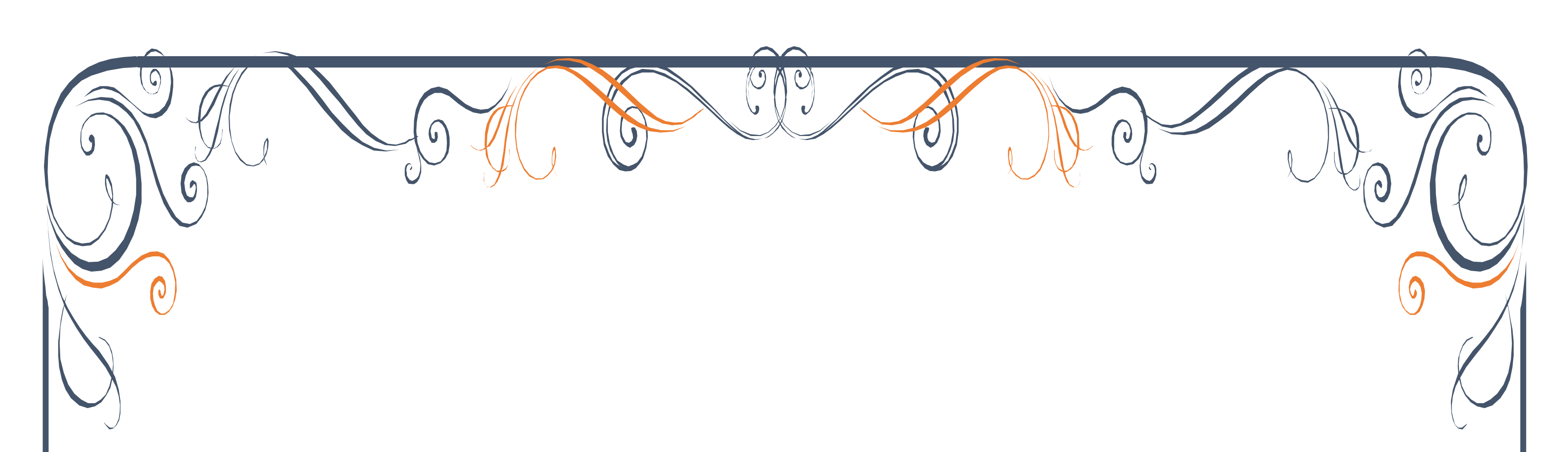
ــ نقص إحكام المكبس فيزيد تسرب غازات الاحتراق ويسبب نقص قدرة الوحدة وارتفاع درجة الحرارة ، وحرق طبقة الزيت ،مما يؤدى إلى احتمال قفش المكبس أو انفجار بصندوق المرفق فى حالة المحركات السريعة .

أما زيادة معدل التزييت فقد يسبب :

ــ رواسب كربونية عند منطقة الشنابر ، زرجنة الشنابر فى مجاريها مما يسبب كسرها ويزيد تسريب الغازات وربما يؤدى إلى قفش المكبس .

ــ اتساخ مجموعة العادم والشاحن التوربينى وتلف الصمامات وحرائق فى ماسورة العادم .

ــ اتساخ حيز الكسح وحدوث حرائق به .



ملحوظة : يمكن معرفة حالة الشنابر دون رفع المكبس فى حالة المحركات الديزل ثنائية الأشواط من فتحات الكسح حيث يتضح التزييت المناسب عند فحص المكبس من شكل الجزع الزيتى ، ونظافة منطقة الشنابر ولمعانها وحرية حركة الحلقات فى مجاريها , اما إذا وجد السطح غير نظيف فيعنى ذلك أن الزيت المستخدم غير مطابق أو أن المعدل غير مناسب .

كيفية تزييت الاسطوانة : Method of Cylinder-Lubrication

أولاً فى المحركات ذات المكابس الجزعية :

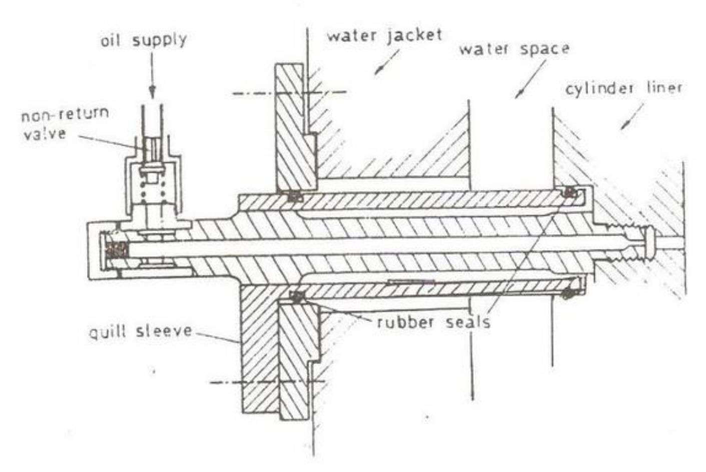
حيث أن معظم هذه المحركات رباعية الأشواط (لا يوجد بوابات) فيتم التزييت عن طريق الطرطشة Spalshing ويصل الزيت للجزء الأسفل من القميص , وفى هذه الحالة تكون كمية الزيت كبيرة ، ولذا يوجد بالمكبس شنابر زيت خاصة Scraper Rings لمنع وصول الزيت إلى غرف الاحتراق وإعادته إلى حيز الكارتير ، وفى بعضها يتم تزييت الاسطوانة عن طريق مزايت (كما هو الحال فى ثانياً) ، ولكن نظراً لصغر أقطار الأسطوانات فيكتفى بمزيتتين عادة .

ثانياً : فى المحركات ذات الأقطار الكبيرة ورأس الانزلاق :

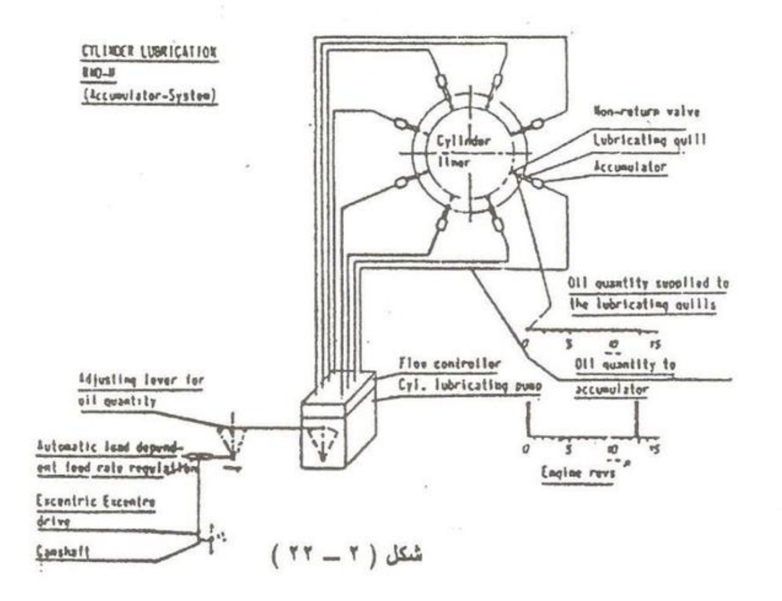
فى هذا النوع من المحركات غالباً ما يكون حيز الاسطوانة مفصول تماماً عن حيز صندوق المرفق ، وتستخدم منظومة مخصوصة لتزييت الاسطوانات . ويكون زيت الاسطوانة مخالفاً لزيت المحامل ، ويمتاز بالقلوية العالية عند استخدام الوقود الثقيل , وهو لا يستخدم مرة ثانية بل يوجه إلى صهريج الزيت القذر .

وتجهز الجلبة بعدد ستة أو ثمانية ثقوب فى المحيط لتثبيت مزايت خاصة Quills كما فى شكل (٢ ــ ٢١) ويتم ضغط الزيت بواسطة طلمبة خاصة Lubricator تأخذ حركتها من عمود الكامات ، ويمكن التحكم فيها لإعطاء الكمية المناسبة طبقاً للحمل كما هو واضح فى شكل (٢ ــ ٢٢) وتثبت المزايت فى مكانها وربما تمر بحيز التبريد ، ولذا يلزم وضع حواكم مطاط لمنع التسرب ويجب اختبار الإحكام دورياً ، وتزود المزايت بصمامات غير رجاعة لمنع الغازات من دخولها لدائرة الزيت .



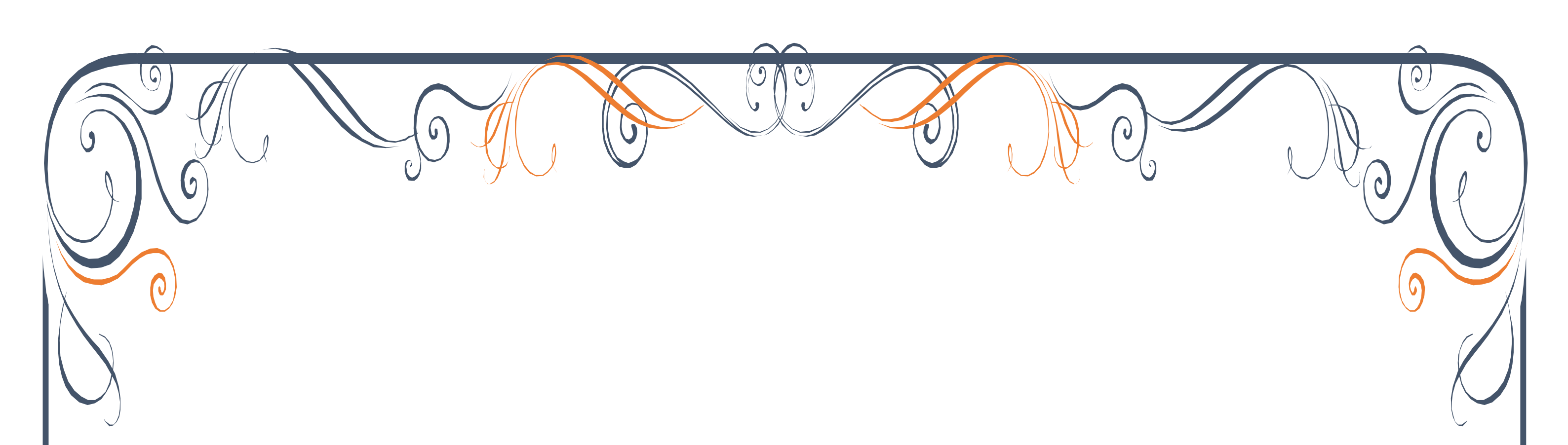


Cylinder Lubrication (٢١ – ٢) شكل



شكل (٢ ــ ٢٢)





ويراعى فى تحديد المكان الرأسى للمزايت عدة عوامل منها :

- أن تكون بعيدة عن البوابات لعدم ضياع طبقة الزيت . وبعيدة على أقصى سرعة للمكبس .
- أن تكون بعيدة عن درجات الحرارة المرتفعة حتى لا يحترق الزيت .
- أن تكون بعيدة عن النقطة التى تكون فيها سرعة المكبس عالية .

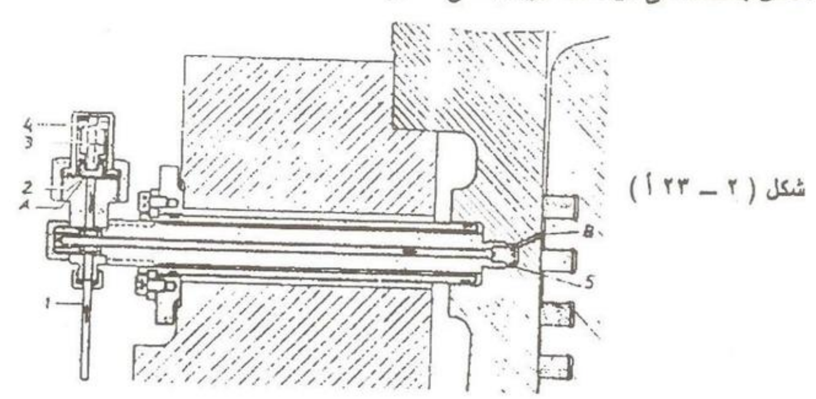
كما أن عددها يسمح بالتزييت الكفء لجميع سطح الجلبة ، ويمكن انتشار الزيت بعمل مجارى Oil-gutters تميل إلى أسفل ، وفى بعض المحركات يزود المكبس بحلقة خاصة لتوزيع الزيت على أكبر مساحة .

وفى حالة المحركات الكبيرة قد تكون المزايت على مستويين ، الأولى تحقن الزيت لمعادلة الحمضية الناتجة عن الاحتراق ، وأما المزايت فى المستوى الثانى فتحقن معظم الزيت والمطلوب توافره .

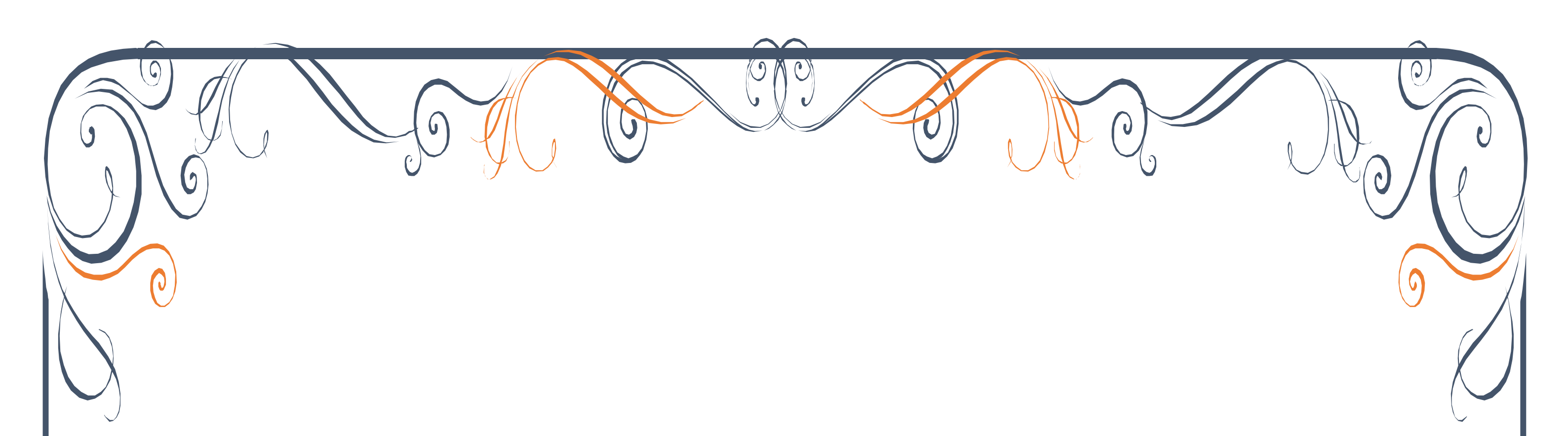
نظام التراكم لتزييت اسطوانات المحرك الديزل RND – M

Accumulator principle for cylinder lubrication

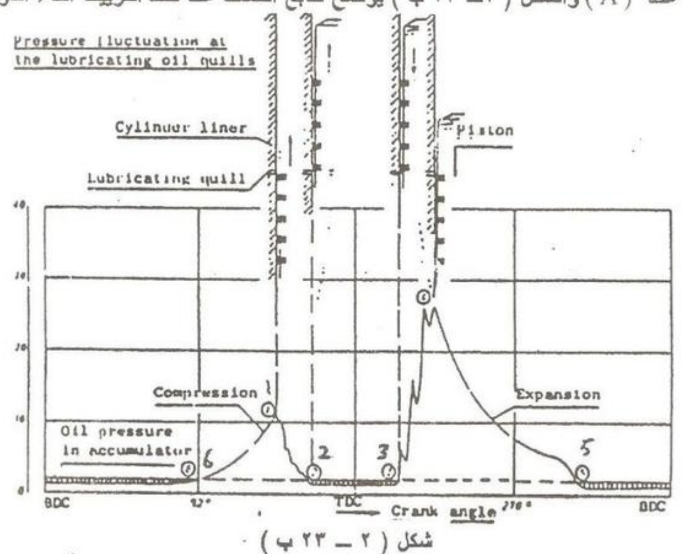
فى شكل (٢ – ٢٣ أ) تقوم المضخة باعطاء كمية معينة من الزيت للمزايت كل ١٠ : ١٥ لفة من المحرك عن طريق جهاز تحكم ، ويصل هذا الزيت أولاً إلى المركم . يدخل الزيت من الماسورة (١) فى الشكل (٢ – ٢٣ أ) إلى المكان (A) حيث يضغط على الحاجب (٢) والكباس (٣) ويرفعه ضد قوة الياى (٤) ويتجمع فى هذا المكان بضغط أعلى من ضغط هواء الكسح للمحرك .



شكل (٢ – ٢٣ أ)



ويندفع الزيت من خلال الثقب المائل فى الأسطوانة إلى نقطة التزييت (B) إذا قل الضغط عندها عن الضغط عند المكان (A) ، ويقف السريان إذا زاد الضغط عند (B) عنه عند (A) والشكل (٢ ــ ٢٣ ب) يوضح تتابع الضغط عند نقط التزييت أثناء الدورة .



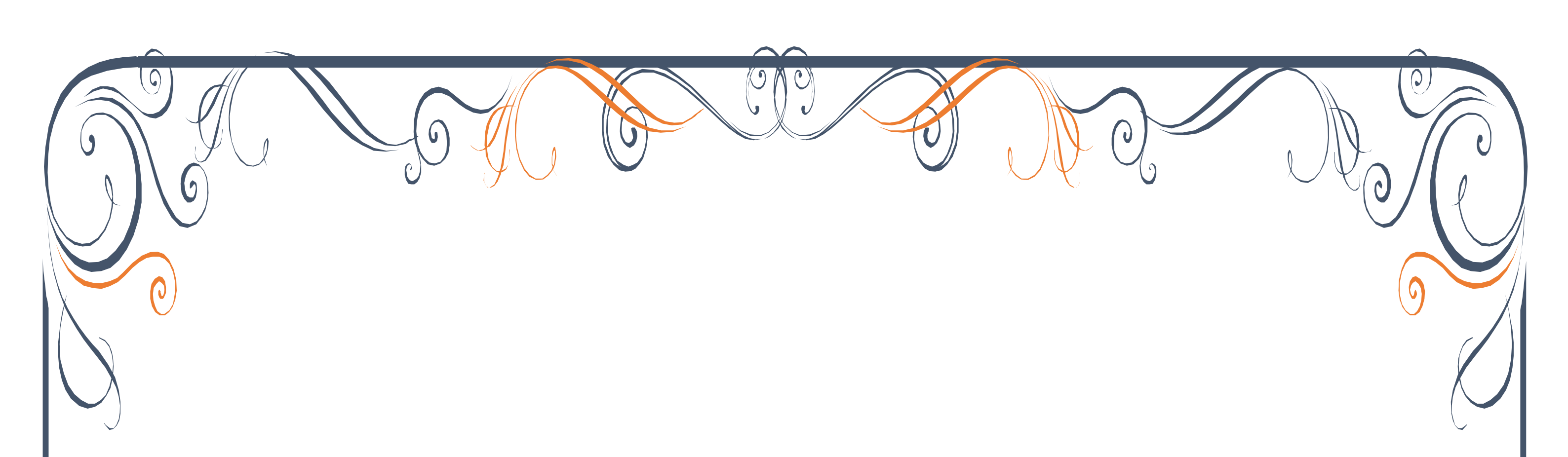
شكل (٢ ــ ٢٣ ب) .

عند .B.D.C بين النقطة (5) ، (6) وعند .T.D.C بين النقطة (2) ، (3) يكون الضغط فى المركم أكبر من الضغط عند نقطة التزييت ، وعليه يندفع الزيت إلـى سطح الاسطوانه طوال هذه الفترة ، أى أنه يتم تزييت سطح الاسطوانه مرتين خلال لفـة واحدة للمحرك .

أما بين النقط (6) , (2) , (3) , (5) يكون الضغط عند نقط التزييت أكبر من الضغط عند المركم ، فيقف سريان الزيت .

ملحوظـــة :

إذا حدث عطب بالمركم نتيجة كســـر فى الياى (4) أو الحاجب (2) لا يرتفع ضغط الزيت ، ويســـير الزيت بدون تحكم إلى الاســـطوانة ، طبقاً للمضخـة (أى أن كل ١٠ : ١٥ لفة من المحرك) .



٢ ـ ٣ ـ ٤ :قياس البرى أو النحر فى الاسطوانه :

Measuring wear in cylinder liner :

يمكن القول أن البرى Wear يحدث فى قميص الاسطوانه نتيجة الآتى :

أ – الاحتكاك : Friction

ويحدث بين سطحين أحدهما ينزلق على الآخر (شنابر المكبس والقميص) ويعتمد على المعادن المصنع منها كلاً منهما وحالة الأسطح وكفاءة التزييت ، وسرعة المكبس ودرجة تحميل الاسطوانات وما يتبعها من ضغط ودرجة حرارة وصيانة الشنابر وكفاءة الاحتراق ودرجة تلوث الوقود أو هواء الشحنة .

ب ـ التآكل : Corrosion

ويحدث عادة فى المحركات التى تستخدم الوقود الثقيل وخاصة الذى يحتوى على نسبة عالية من الكبريت . و يحدث هذا فى الجزء السفلى من القميص عندما تقل درجة حرارة مياة التبريد ، حيث يتكون حامض الكبريتيك نتيجة تكثف الرطوبة فى الاسطوانه ، ويمكن منع حدوث ذلك بجعل درجة حرارة الاسطوانه أعلى من نقطة الندى Dew-point عند الأحمال الجزئية .

جـ : البرى بالمواد الحاكة : Abrasion

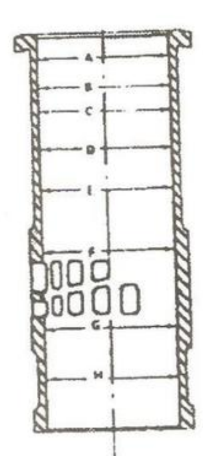
يحدث نتيجة وجود نواتج من الاحتكاك أو التآكل أو الاحتراق ، أى تساعد هذه الجزئيات الدقيقة على زيادة النحر .

وبالإضافة يمكن أن يحدث الخدش أو الالتصاق Adhisioin or scuffing وقد يتأتى نتيجة فقد طبقة الزيت بسبب تهريب الغازات Blow past وارتفاع درجة الحرارة ، ويمكن القول بأنه يُسبب لدعة لحام بين ذرات معدن حلقات المكبس وسطح القميص مما يسبب تجريح القميص .

وعلى ذلك يجب قياس القطر الداخلى للقميص بعد فترات ثابتة من التشغيل (كل ٦٠٠٠ : ٨٠٠٠ ساعة) وذلك لمعرفة الزيادة فى القطر ، وتحفظ هذه القراءات للرجوع إليها ومعرفة معدل البرى ، وتبدأ بنظافة السطح الداخلى وفحصه تماماً ومنه يمكن معرفة كفاءة التزييت . ثم يستخدم ميكرومتر تلسكوبى فى اتجاه محور عامود المرفق وعمودياً



عليه وذلك عند مستويات مختلفة تحدد بخوصة صلب موردة مع المحرك لهذا الغرض ويكون عادة فى ٦ : ٨ أماكن كما فى الشكل (٢ ــ ٢٤) ، وتسجل القراءات فى جدول كما فى شكل (٢ ــ ٢٥)



شكل (٢ ــ ٢٤)

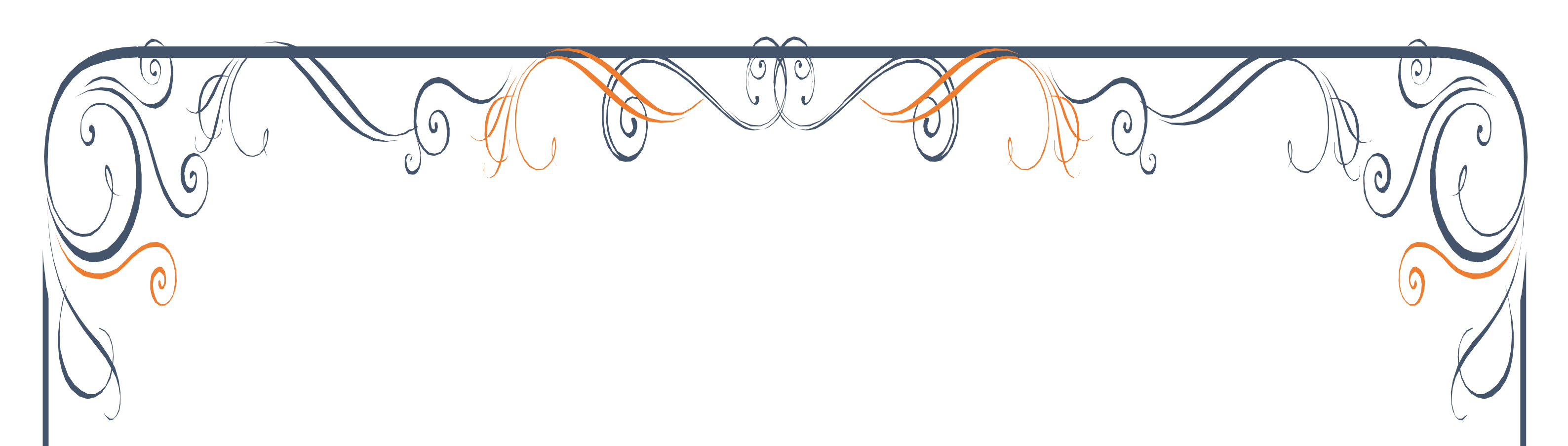
CYLINDER NUMBER		DATE	
DATE FITTED		DATE OF LAST GAUGING	
TOTAL HOURS		HOURS SINCE LAST GAUGING	

POSITION	PANDS	FANDA
A		
B		
C		
D		
E		
F		
G		
H		
Max. Wear		

OVALITY	
MEAN MAX. WEAR	
WEAR RATE SINCE NEW	
WEAR RATE SINCE LAST GAUGING	
REMARKS	

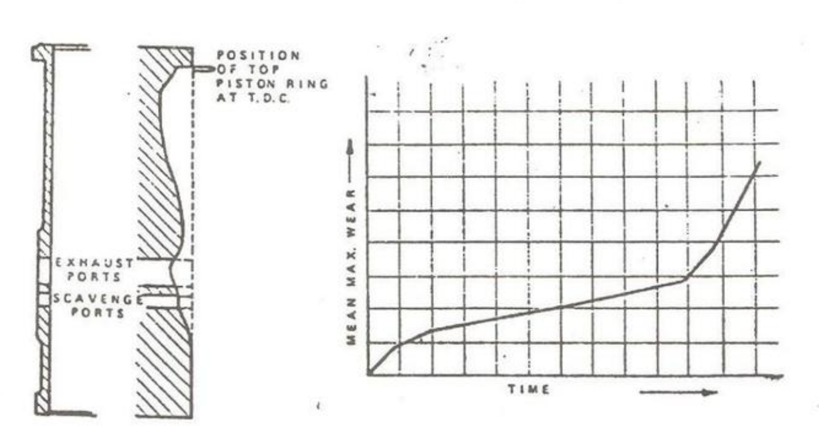
شكل (٢ ــ ٢٥)





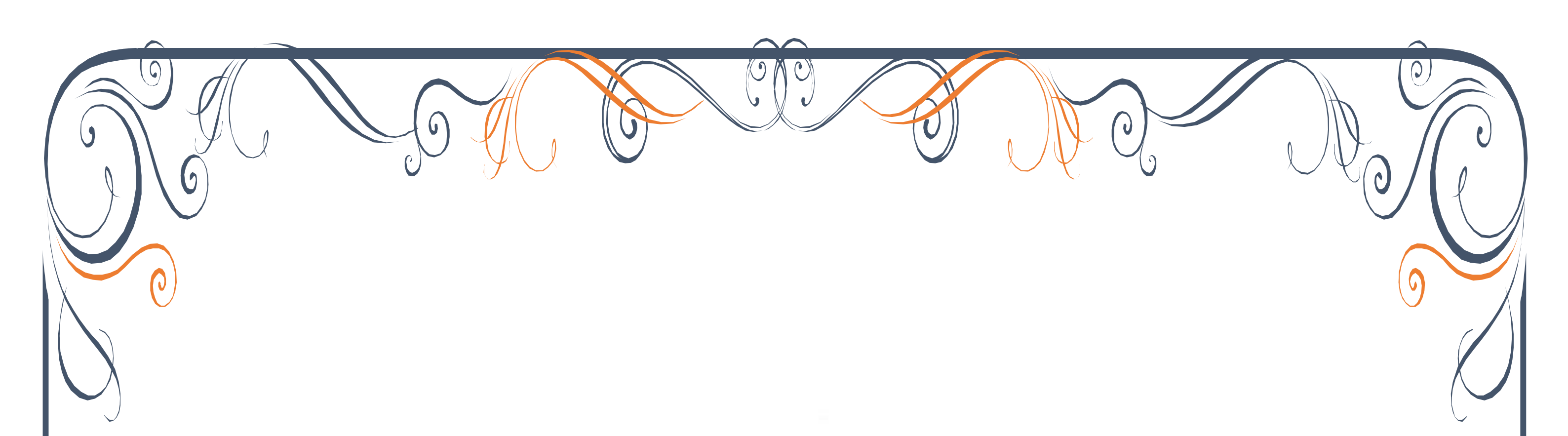
وشكل البرى على طول القميص يختلف باختلاف نوع المحرك ، ولكنه فـى المحـرك التنائى الأشواط ذات الكسح الدائرى يكون كما هو واضح فى شكل (٢ ـ ٢٦) حيث يزيد البرى فى الجزء العلوى نظراً لأن الضغط ودرجة الحرارة أعلى ما يمكن ثـم يقـل كلمـا اتجهنا إلى أسفل ، ثم يزيد مرة أخرى عند بوابات الحر والعادم حيـث أن هـذه المنطقـة معرضة لفقد طبقة الزيت بتأثير غازات العادم أو هواء الكسح . أما فى حالـة المحركـات الجزعية فيكون أكثر برى عند منتصف المشوار والجزء العلوى .

ومعدل البرى يختلف طوال فترة التشغيل حيث يزيد فى بداية عمر القميص ثم يكاد يثبت خلال معظم فترة التشغيل ثم يبدأ فى الزيادة مرة أخرى بعد فترة التشغيل المعقولـة كمـا يتضح فى شكل (٢ ـ ٢٧) .



شكل (٢ ـ ٢٧)　　　　　شكل (٢ ـ ٢٦)

ومعدل البرى يختلف تبعاً لظروف التشغيل ولكن يمكن القول بأن المعدل المقبول يجـب أن يقل عن ٠.١ مم لكل ١٠٠٠ ساعة تشغيل ، وبالطبع يزيد هذا المعدل إذا عمل المحرك لمدد طويلة على الحمل الزائد أو الوقود الثقيل . وأقصى تآكل مسموح به يجب ألا يزيد عن ٠.٧ % من القطر الأصلى ، وعليه فإن ميعاد تغيير القميص بآخر جديـد يمكـن تحديـده مسبقاً لتحضير قطع الغيار اللازمة وذلك من القراءات السابق تسجيلها .



وعلى سبيل المثال :

– إذا كان القطر الأصلى للقميص = ٩٠٠ مم ويستخدم الوقود الثقيل

فإن أقصى تآكل مسموح به = ٩٠٠ × $\frac{٧}{١٠٠٠}$ = ٦,٣ مم

أى مدة التشغيل تقريباً = ٦,٣ ÷ ٠,١ = ٦٣٠٠٠ ساعة ، أى مايقرب من عشرة سنوات تشغيل .

ملحوظــــة :

إذا عمل المحرك وكانت الجلب متآكلة أكثر من المسموح به فيحدث التالى :

– يزيد معدل البرى بسرعة عالية كما يتضح من شكل (٢ – ٢٧) .

– يزيد تفويت الغازات من الاسطوانات فتسبب حرق طبقة الزيت .

– تتعرض حلقات المكبس للزرجنة والكسر ، وينقص ضغط الانضغاط ويزيد اتساخ مجموعة العادم .

– زيادة الكربون على بوابات العادم يعمل على حدوث حرائق فى حيز الكسح .

(٢ - ٤) رأس الاسطوانه

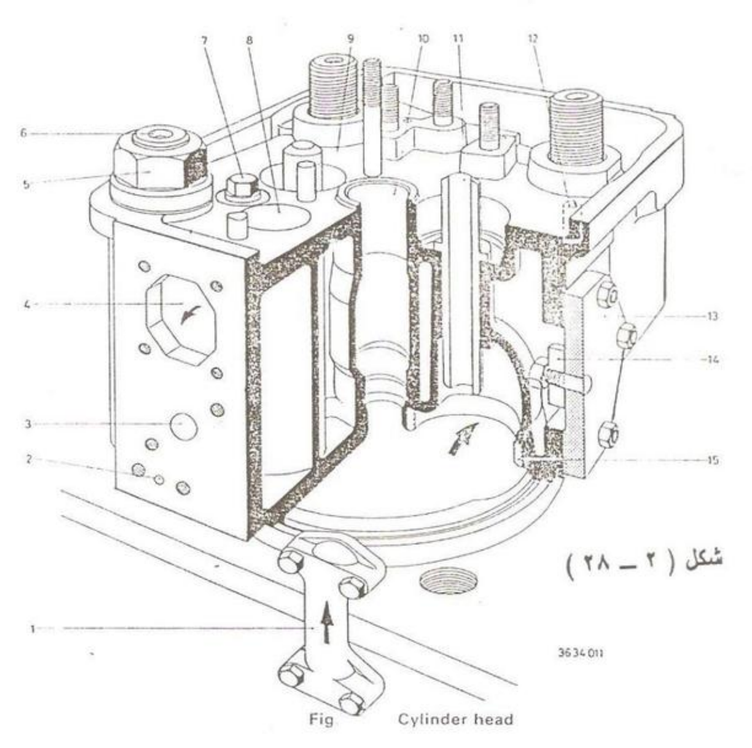
Cylinder Head

غطاء الاسطوانة أو رأس الاسطوانة هو الجزء الذى يقفل حيز الاسطوانة من أعلــى، ويحدد مع تاج المكبس شكل غرفة الاحتراق وحجم الخلوص ، وتعتبــر رأس الاســطوانه مصبوبة معقدة نظراً لشمولهاعلى مبايت للصمامات وحوارى لمياة التبريد التى تصل إليها بعد تبريد الجلبة .

شكل(٢ – ٢٨) رأس الاسطوانه لمحرك رباعى الأشواط ويحتوى على صمامات الحر والعادم وصمام التقويم وصمام الأمان وصمام حقن الوقود وجــزرة المبــين ، أمـا فــى المحركات الثنائية الأشواط فلا يحتوى على صمامات الحر بل قد تحتوى على صمام أو أكثر للعادم كما فى حالة المحركات الثنائية ذات الكسح الطولى .

وتكون رؤوس الاسطوانات كتلة واحدة فى المحركات الصــغيرة ، ولكــل اسطوانه رأس مستقل فى المحركات الكبيرة .



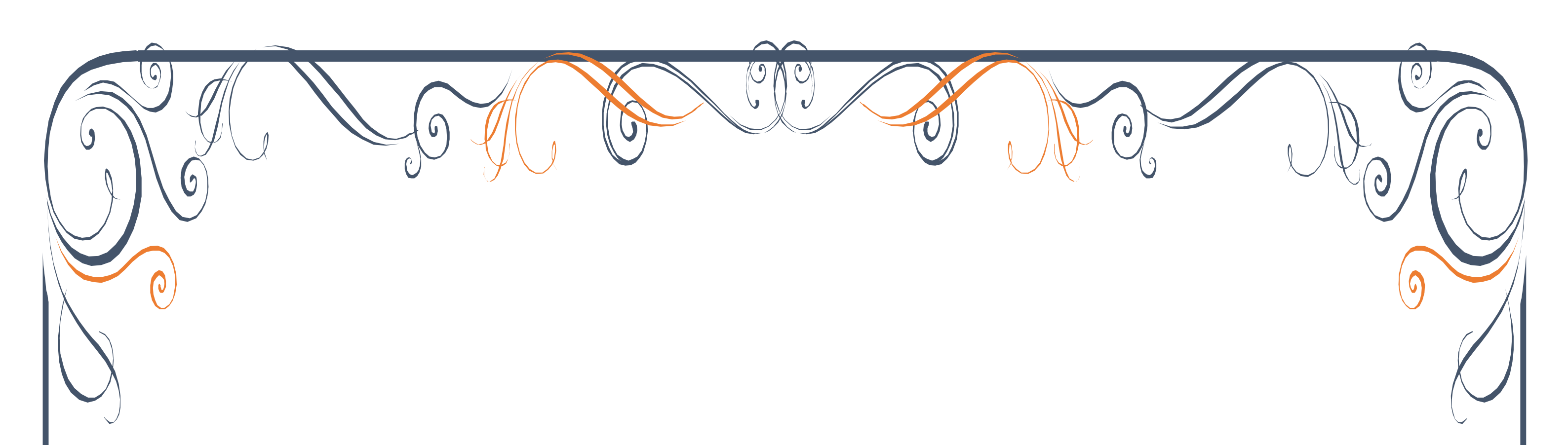


شكل (٢ ــ ٢٨)

Fig Cylinder head

1 Cooling water bend
2 Drill-hole connection (indicator valve)
3 Drill-hole connection (starting-air pipe)
4 Cooling water discharge
5 Hexagonal nut
6 Cylinder head stud
7 Screw plug (relief valve)
8 Starting air valve
9 Inlet valve
10 Fuel injector
11 Exhaust valve
12 Pipe (oil discharge)
13 Cover
14 Zinc ring
15 Valve seat, inserted

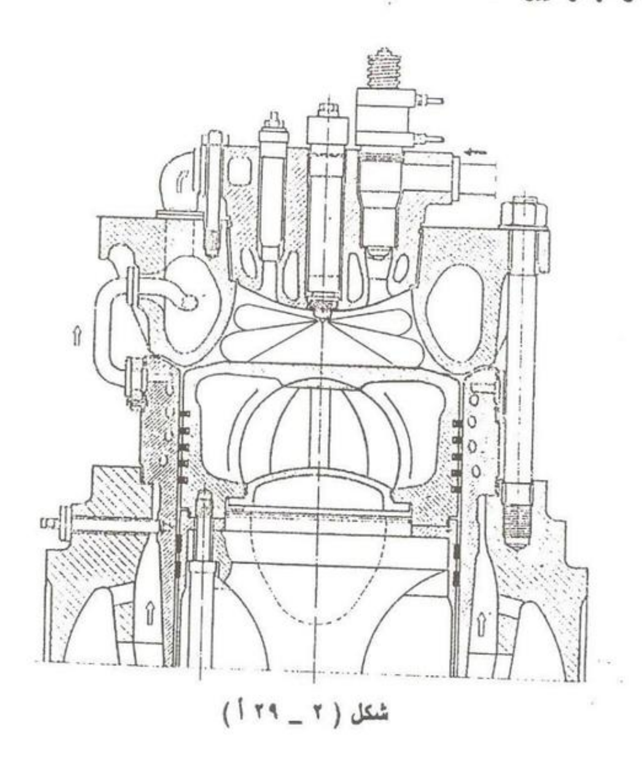
ولما كانت رؤوس الاسطوانات معرضة للضغوط ودرجات الحرارة العالية الناتجة عـن الاحتراق ، فإنها تقع تحت تأثير اجهادات ميكانيكية وحرارية كبيرة . ولذا فإنه يشترط توافر خواص ميكانيكية عالية Mechanical properties ومقاومة كافية للحرارة للمعدن المصنع منه رأس الاسطوانه . والمعدن المستخدم عادة لتصنيع رؤوس الاسطوانات هـو سـبائك



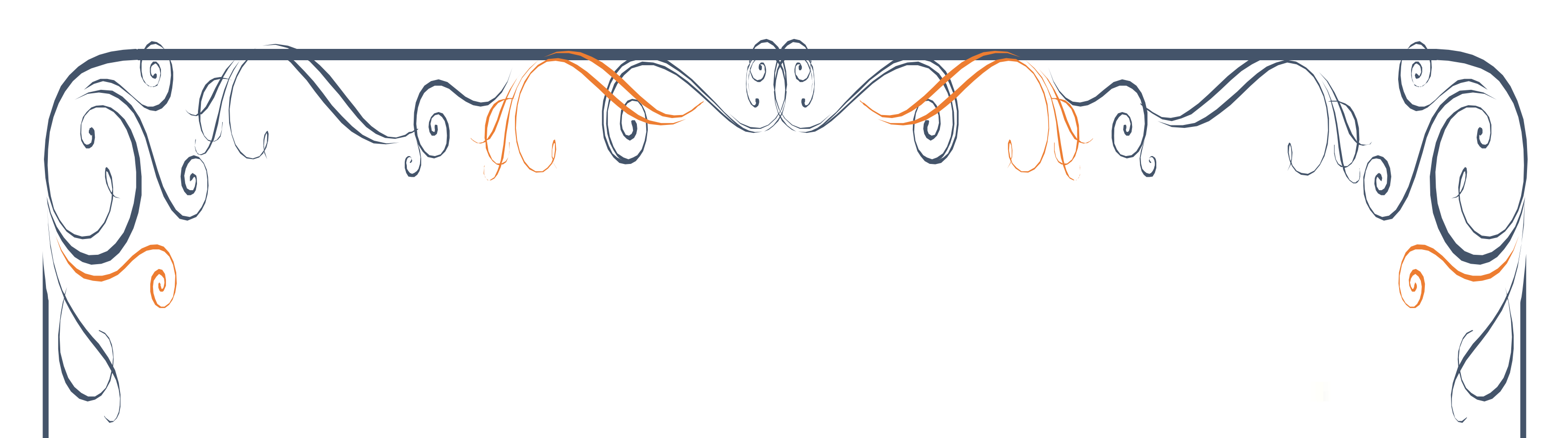
الحديد الزهر المقاوم للحرارة ذات الحبيبات المتلاصقه ، وفى بعض الأحيان يستخدم الصلب المصبوب أو المطروق وذلك فى بعض المحركات الكبيرة.

وتثبت رأس الاسطوانه (التى تضغط على الشفة العليا للجلبة) على الجسم بواسطة ستة أو ثمانية مسامير ، وتبرد بمياة التبريد الخارجة من تبريد الاسطوانه .

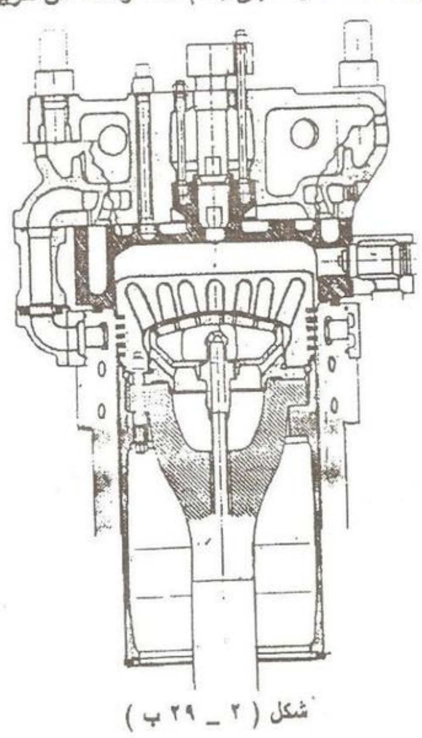
وبينما تصنع رأس الأسطوانه عادة من قطعة واحدة ، إلا أنه فى المحرك الديزل Sulzer-RND تم تصنيعها من جزئين شكل (٢ ــ ٢٩ أ) . الجزء الخارجى من الصلب المصبوب الذى يتحمل معظم الاجهادات الميكانيكية بينما الجزء الداخلى الذى يتعرض لمعظم الاجهادات الحرارية يصنع من الحديد الزهر ذات الحبيبات المتلاصقة ويحتوى على صمام حقن الوقود وصمام التقويم والأمان وجزرة المبين ، وكل منهما فى قفص خاص يجعل من السهل رفعها وتغييرها .



شكل (٢ ــ ٢٩ أ)



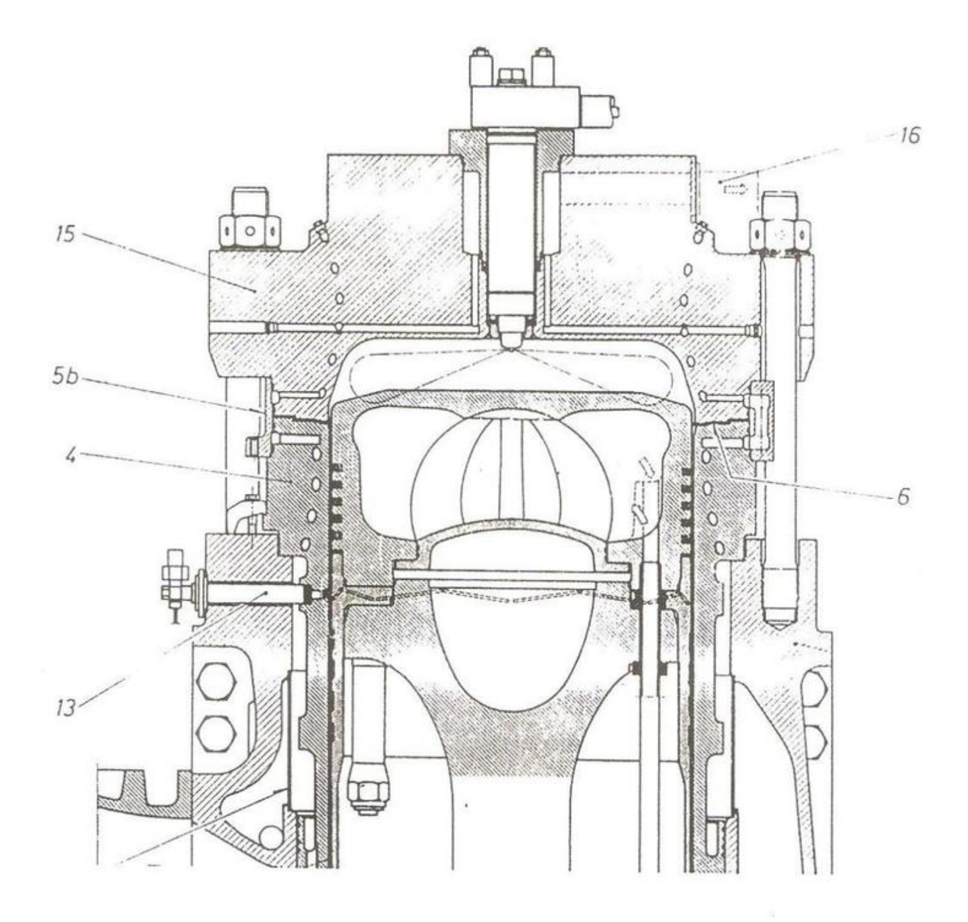
أما الشكل (٢ ــ ٢٩ ب) فهو لرأس اسطوانة محرك ماركة .M.A.N طــراز -KSZ يصنع أيضاً من قطعتين ، الجزء الأسفل من الصلب وبسمك صغير ليســمح بانتقــال جيــد لحرارة فتقل الإجهادات الحرارية ، ويدعم فى مكانه بالجزء العلوى المصنع مــن الحديــد الزهر والذى ينقل قوى ضغط الغازات إلى جسم الاسطوانات عن طريق مسامير الرباط .



شكل (٢ ــ ٢٩ ب)

شكل (٢ ــ ٣٠) يوضح رأس الاسطوانه للمحرك سولزر طراز RND – M ويصنع من الصلب المطروق من قطعة واحدة ، ولكن يتميز بعمل ثقوب خاصــة للتبريــد -Bore Cooled كما هو موضح بالشكل ، وغرفة الاحتراق المسطحة ، وقد أدى هذا التصميم إلى انخفاض الاجهادات الحرارية Thermal stress والاجهادات الميكانيكية Gas load stress إذا ما قورنت بالتصميم السابق . والشكل (٢ ــ ٣١ أ ، ب) يعطى صورة واضحة عــن المقارنة فى نقط مختلفة بالنسبة لرأس المحرك RN 90 M المتطور .



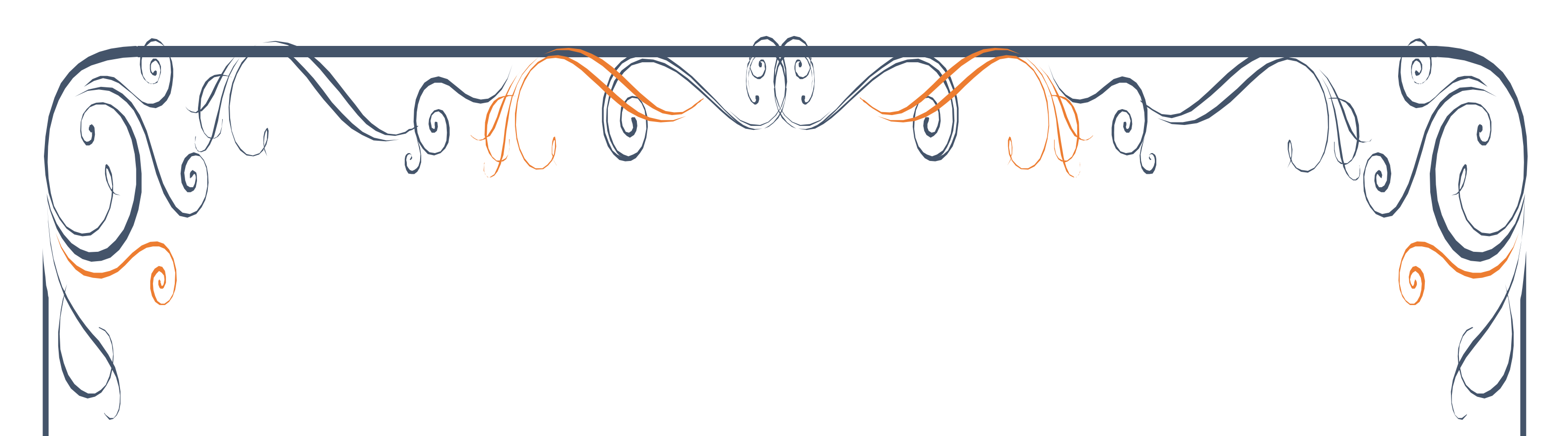


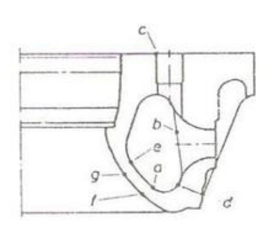
1- Cylinder Jacket
5b- Water guide to cylinder cover
6- Joint ring
15- Cylinder cover

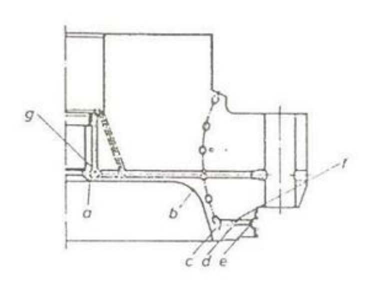
4- Cylinder liner

13- Lubricating quills
16- Cylinder cooling water out let

شكل (٢ _ ٣٠)







RN 90
DESIGN 1971

OUTPUT 2900 HP/CYL
BMEP 10.85 KP/CM²
(154.5 PSI)
FIRING PRESSURE 85 KP/CM²
(1220 PSI)

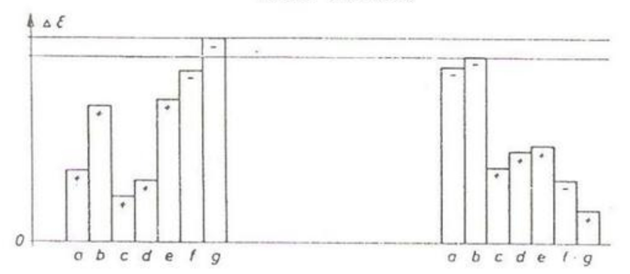
RN 90 M
DESIGN 1974

OUTPUT 3350 HP/CYL
BMEP 12.53 KP/CM²
(178.5 PSI)
FIRING PRESSURE 92 KP/CM²
(1310 PSI)

GAS LOAD STRESSES
(MISES CRITERION)

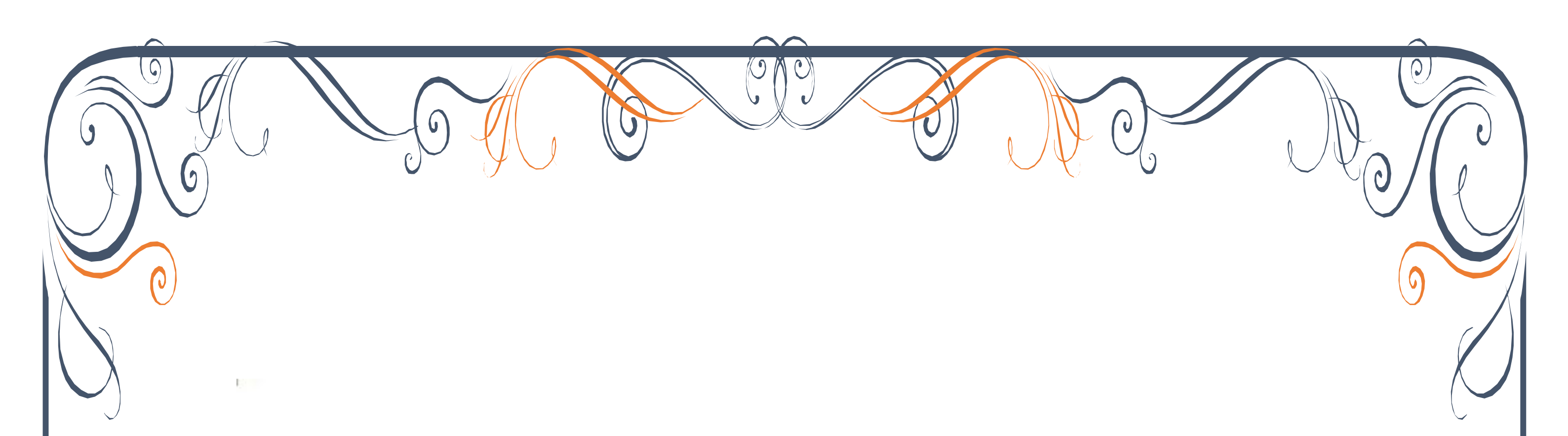


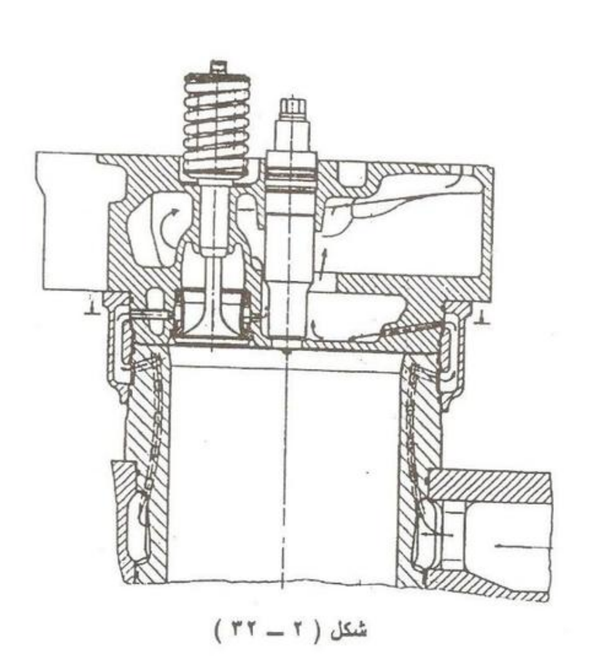
STATIC + THERMAL STRAIN
(MISES CRITERION)



شكل (٢ ــ ٣١)





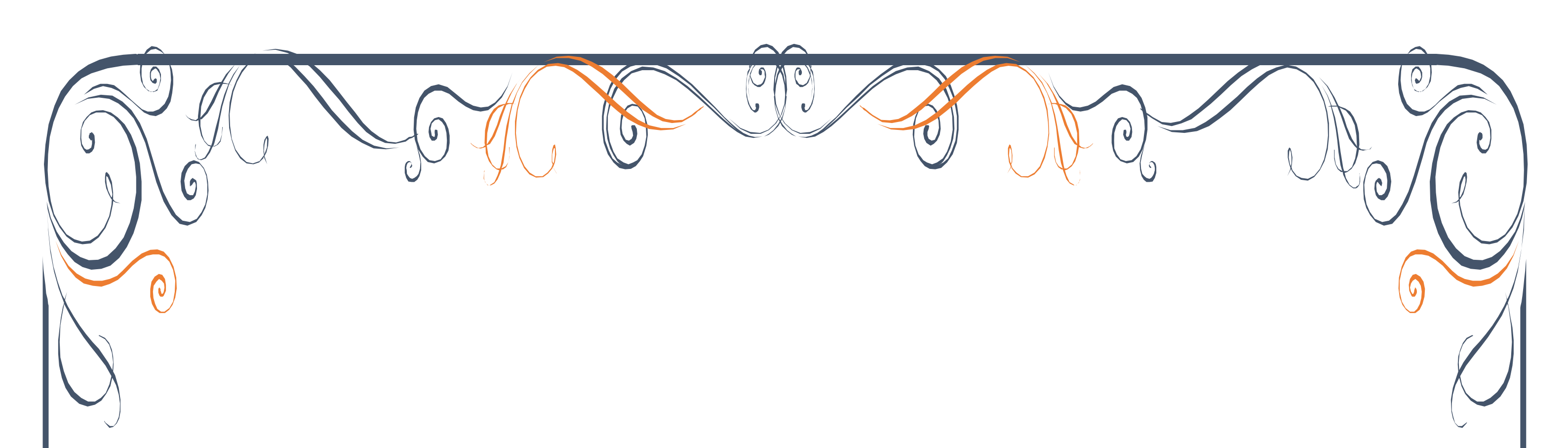


شكل (٢ ــ ٣٢)

ونظراً لأن رأس الأسطوانه للمحركات الرباعية الأشواط تحتــوى علــى العديــد مــن الصمامات فهى تعتبر مصبوبة معقدة ، وعليه فهى تصــنع بالصــب مــن حديــد الزهــر المخصوص (ذو الجرافيت الكروى) أو الصلب . ولمقاومة اجهاد الثنى فى حالة القدرات العالية فتكون ذات عمق كبير وتحتوى على ثلاث ألواح ، الأوسط والمقابل للحريق ويشترط أن يكون ذو سمك محدود ليساعد على التبريد ، بينما اللوح العلوى فيكون ذو سمك كــاف ليوفر المتانة المطلوبة .والشكل (٢ ــ ٣٢) يوضح ذلك مع مسارات التبريد الكفء.

العيوب التى تتعرض لها رؤوس الاسطوانات هى :

١ ــ الشـــــــروخ .
٢ ــ التشوه نتيجة الرباط الخاطئ .
٣ ــ التآكل من ناحية مياة التبريد .
٤ ــ التآكل من ناحية مرور الغازات .
٥ ــ انسداد حوارى التبريد نتيجة الترسيبات الملحية للمياه .



٢ ــ ٤ ــ ١ ــ أسباب حدوث الشروخ فى رأس الاسطوانه

Main causes of cylinder-head cracks :

ربما تحدث الشروخ فى رأس الاسطوانه نتيجة سبب أو أكثر من الأسباب الآتية :

١ ــ نتيجة ارتفاع درجة الحرارة الموضعية يزحف المعدن فى نقطة ما ، وعند إيقاف المحرك يبرد السطح ويسبب إجهاد شد فى المنطقة التى ظهر فيها الزحف . وتظهر الشروخ فى هذه المنطقة بعد مدد متفاوته تعتمد على فرق درجات الحرارة والخواص الميكانيكية للمعدن المصنع منه الرأس .

٢ ــ عدم كفاية التبريد قد تؤدى إلى حدوث شروخ ، وتكون عادة فى أضعف جزء ويكون عادة بين صمام العادم وصمام حقن الوقود ، أو بين صمامى العادم (فى حالة المحركات ذات صمامى عادم) .

٣ ــ تظهر الاجهادات الحرارية نتيجة ترسيب طبقة من الأملاح على الجدار الملاصق لمياة التبريد ، فتعمل كعازل لانتقال الحرارة ، وترفع درجات الحرارة ، وبإزالة الأملاح والفحص المستمر يمكن إطالة عمر رأس الأسطوانه .

٤ ــ تعرض سطح المعدن الساخن للهواء البارد فجأة عند إعادة تقويم المحرك أثناء المناورات .

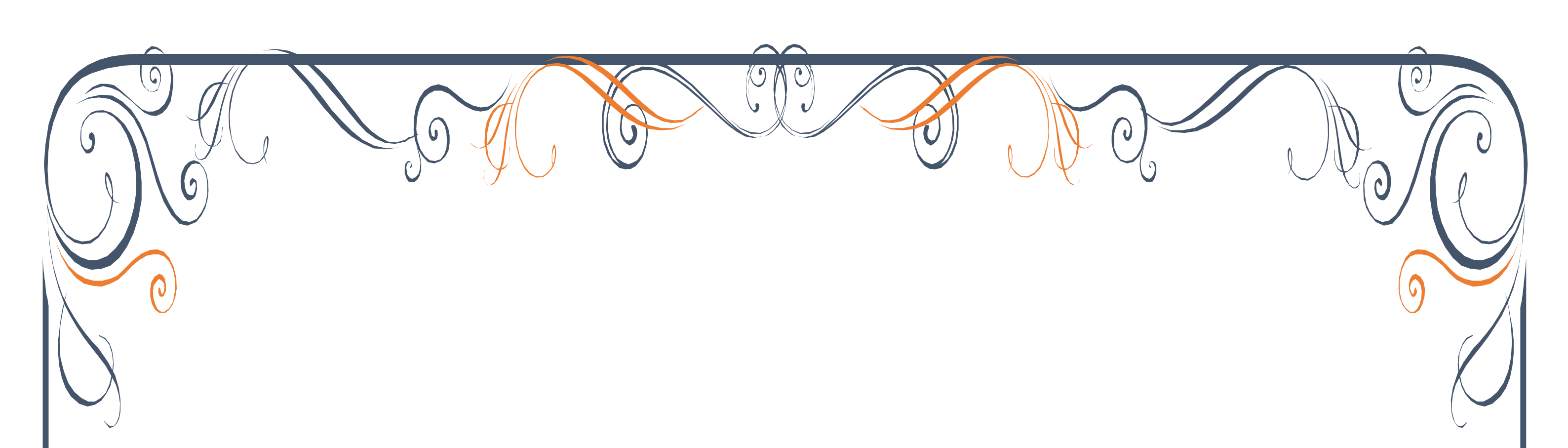
٥ ــ عدم التسخين المناسب قبل التشغيل .

ملحــــوظة :

ربما لا تظهر هذه الشروخ والمحرك بالعمل ، ولكن بعد توقفه وتبريده تتسرب المياة إلى حيز الاسطوانه فوق المكبس ، وتكون هذه الشروخ دقيقة لدرجة عدم إمكانية رؤيتها بالعين المجردة ، ولذا يلزم نظافة السطح تماماً ودهانه بمحلول مظهر الشروخ ، فيظهر الشرخ ويمكن تحديد بدايته ونهايته .

لحام مثل هذه الشروخ ليست ناجحة عادة ، ولكن نجحت فى بعض الأحوال وأعطت نتائج مرضية ، باتباع الآتى :

عمل ثقب فى بداية ونهاية الشرخ وطبه بمسمار قلاووظ ، ثم قطع المعدن حول الشرخ على شكل حرف V وتسخين الرأس بأكمله إلى درجة حرارة حوالى ٥٤٠°م واتمام اللحام ، ثم معالجته حرارياً بالتسخين إلى درجة حرارة ٧٠٠ م° ثم التبريد ببطء وذلك للتخلص من أى إجهادات حرارية .



٢ ـ ٤ ـ ٢ : الأعمال الواجب مراعاتها لمنع أو تقليل الشرخ :

أ ـ عمل الصيانة الدورية فى ميعادها وتشتمل على :

- تنظيف الحوارى من ناحية المياة والغازات وعمل الاختبار الهيدروليكى .
- عدم السماح بالترسيبات الملحية على الأسطح وذلـــك بازالتهـــا واســـتخدام الموانع Inhibitors لمياة التبريد .
- وضع أصابع الزنك لمنع التآكل بالتأثير الجلفانى .

ب – التشغيل السليم باتباع :

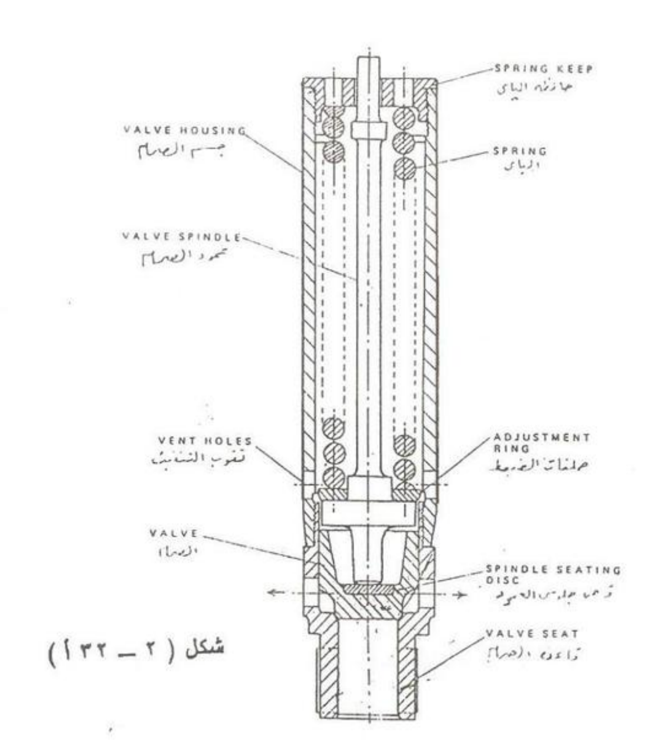
- تسخين المحرك جيداً قبل التحميل .
- عدم زيادة الأحمال على الوحدات وعدم ارتفاع درجات الحرارة والضغوط عن القيم المحددة .
- مراعاة الاحتراق الجيد دائماً .
- كفاءة التبريد .
- التصفية الدائمة لهواء بدء الحركة والتخلص من أى مياة عالقة .

٢ ـ ٤ ـ ٣ صمام الأمان على رأس الأسطوانة Cylinder safety valve

يحمى هذا الصمام الأسطوانة من انفجارها عند تعرضها للضغوط العالية . يـــتم فـــتح الصمام على ضغط لا يزيد عن ١٠% من أقصى ضغط للأسطوانة ، ويلاحظ أن تكون فتحات التصريف بعيدة عن أذى الأفراد .

يصنع الصمام من الصلب الذى لا يصدأ ويحمل بياى حول العمود ، ويتم عملية الضبط بصامـــــولة زنق بأعلى الياى أو بلبينات توضع تحت الياى كما هو واضح من الرســـم (٢-٣٢ أ) . يجرى للصمام صيانة دورية بعمل النظافة والفحص والاختبار على فتـــرات مماثلة لفترات صيانة الرأس ، حيث يجب أن يكون الصمام محكم تماماً بعمل التجليخ اللازم ثم يتم عمل الاختبار اللازم .





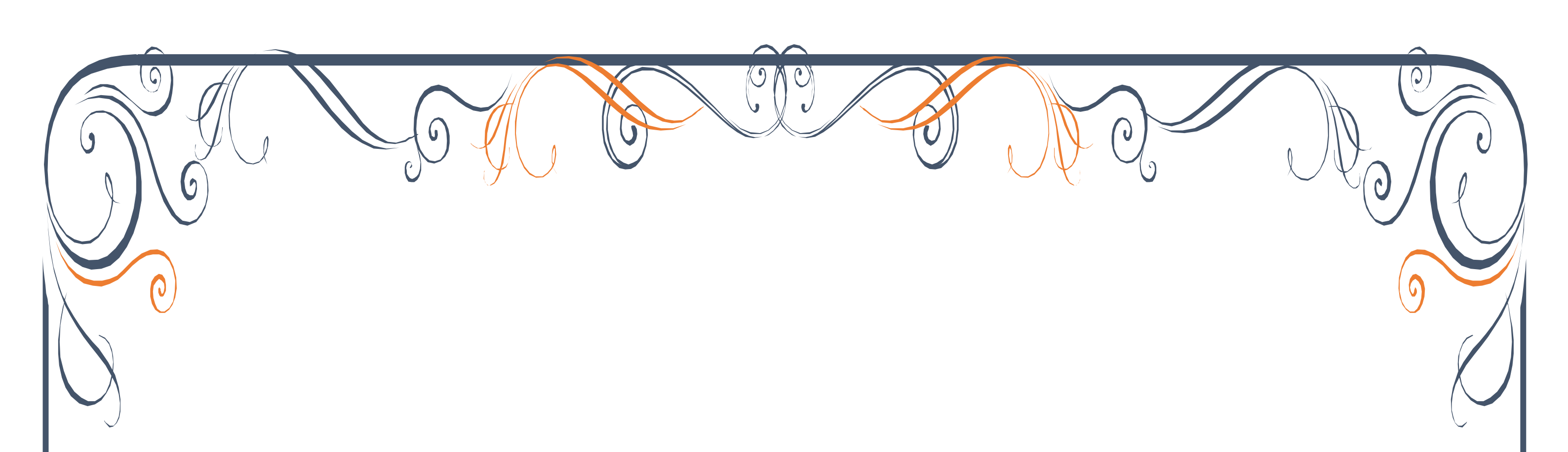
شكل (٢ ـ ١٣٢ أ)

<u>يدل فتح الصمام على ظروف التشغيل الغير سليمة مثل</u> :

- ارتفاع الضغط بالاسطوانة نتيجة تجمع الوقود أثناء عملية اخراج الهواء من الوقود Priming واحتراقه مرة واحدة .
- وجود تسييل بالحاقن .
- حمل زائد على الوحدة ، أو ضبط خاطئ للصمام .
- توقيت حقن مبكر للوقود .
- زرجنة فتح صمام العادم .

<u>ملحوظـــــــة</u> :

- لا يحمى الصمام الاسطوانة فى حالة تجمع المياة فوق المكـبس حيـث أن المياة غير قابلة للانضغاط ومساحة التصريف غير كافية لخروج المياه .
- ربما يؤدى فتح الصمام إلى تلفه ، فيتطلب الأمر مراجعته .



(٢ـ٥) المكابس Pistons

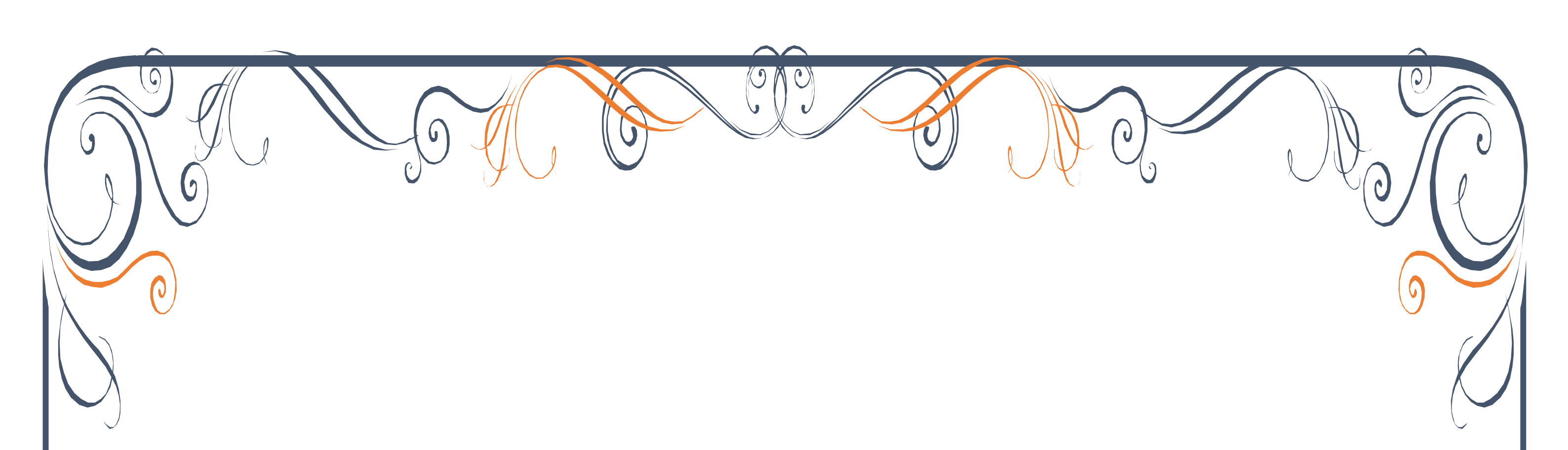
يعد المكبس ومجموعته الجزء الأول الذى يتلقى القوة الدافعة من ضغط الغازات فى الاسطوانة حيث يتم نقلها إلى ذراع التوصيل Connecting-rod ثم عمود المرفق حيث تتحول الحركة الترددية إلى حركة دورانية .

ويمكن حصر عمل المكبس فى النقاط التالية : Piston function

١. نقل القوة الناتجة من ضغط الغازات نتيجة الاحتراق إلى عمود المرفق .
٢. نقل القوة الجانبية نتيجة الحركة الزاوية لذراع التوصيل إلى القميص فى حالة المكابس الجذعية .
٣. يعتبر كسدادة حاكمة للاسطوانة من أسفل .
٤. نقل بعض الحرارة الممتصة إلى الجلبة عن طريق الحلقات وإلى مياه التبريد .
٥. يقفل أو يفتح بوابات الحر والعادم فى المحركات الثنائية الأشواط .
٦. قد يستخدم أسفل المكبس كمضخة فى بعض المحركات ثنائية الأشواط .

٢ ـ ٥ ـ ١ : أهداف التصميم Design objects

أ- المتانة العالية وخاصة التاج Crown حيث أنه يتعرض لاجهادات حرارية وميكانيكية كبيرة .
ب- مساحة جانبية كبيرة لتقليل الضغط الجانبى فى حالة المكابس الجذعية .
ج- أقل معامل احتكاك بين الحلقات Piston-rings والجلبة .
د- إحكام تام لحيز الاسطوانة لمنع تسرب الغازات .
ه- يسمح بانتقال الحرارة من تاج المكبس إلى الحلقات ومنها إلى القميص ثم مياة التبريد .
و- التخلص من زيت التزييت الزائد لعدم وصوله إلى غرفة الاحتراق .
ز- تخفيف الوزن وذلك لتقليل قوى القصور الذاتى Inertia forces .



٢ ـ ٥ ـ ٢ : أنواع المكابس : Piston types

أولاً : من وجهة نظر التصميم يمكن تقسيمها إلى :

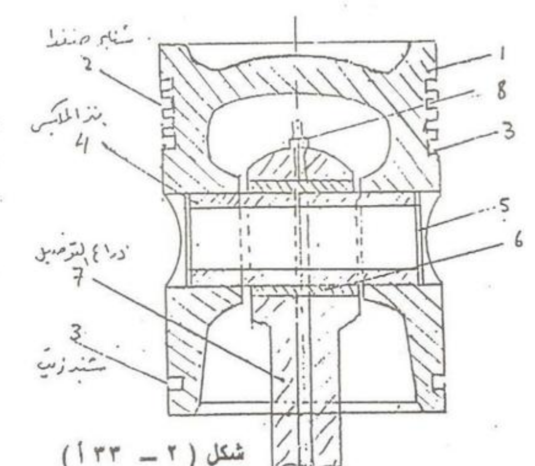
أ ـ مكابس جذعية Trunk pistons

فى المكابس الجذعية شكل (٢ ـ ١٣٣ أ) يتصل المكبس بذراع التوصيل مباشرة ، وينقل المكبس قوة الدفع الجانبى المتغيرة الاتجاه إلى جدران الاسطوانة ، ويستفاد من طول الجذع فى توزيع الضغط على مساحة كبيرة من جدار الاسطوانه ، ويلاحظ أن معظم النحر الناتج عن القوة الجانبية يكون عند منتصف المشوار حيث تكون زاوية ميل نراع التوصيل أكبر ما يمكن .

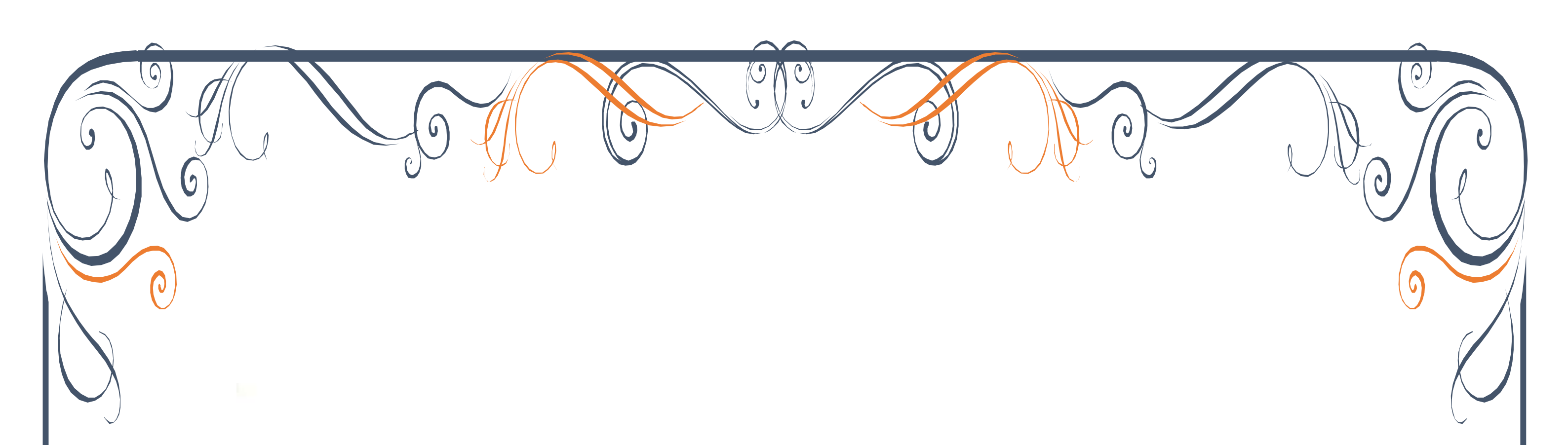
وتستخدم المكابس الجذعية مع المحركات رباعية الأشواط ذات الاتصال المباشر بين المكبس وعمود المرفق عن طريق ذراع التوصيل وبواسطة بنز المكبس Piston pin ، ويتكون المكبس من التاج والجذع ، ويكون قطعة واحدة أو قطعتين.

وتصنع المكابس من معادن تتميز بالمتانة وخفة الوزن وجودة التوصيل الحرارى والتمدد البسيط . قديماً كانت تصنع تيجان المكابس من حديد الزهر ، ولكن حالياً يفضل تصنيعها من سبائك الصلب ـ وهى ليست الأمثل من جهة خفة الوزن والتوصيل الحرارى ، وعليه فُضل استخدام سبائك الألمونيوم (التى تحتوى على المولبدنم والنيكل والماغنسيوم والسليكون) والتى تتميز بجودة التوصيل الحرارى وقلة التمدد .

1- Piston
2- Compression rings
3- oil scraper rings
4- Piston pin
5- circlip
6- Piston pin bush
7- Connectin rod
8- mozzle.

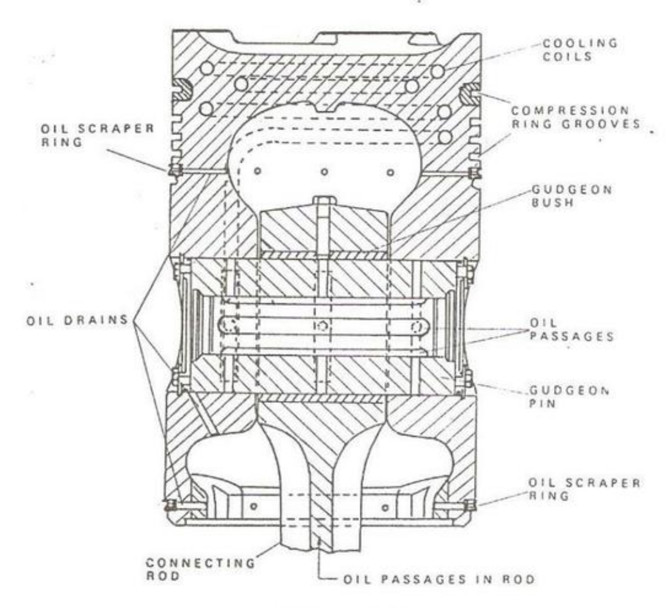


شكل (٢ ـ ١٣٣ أ)



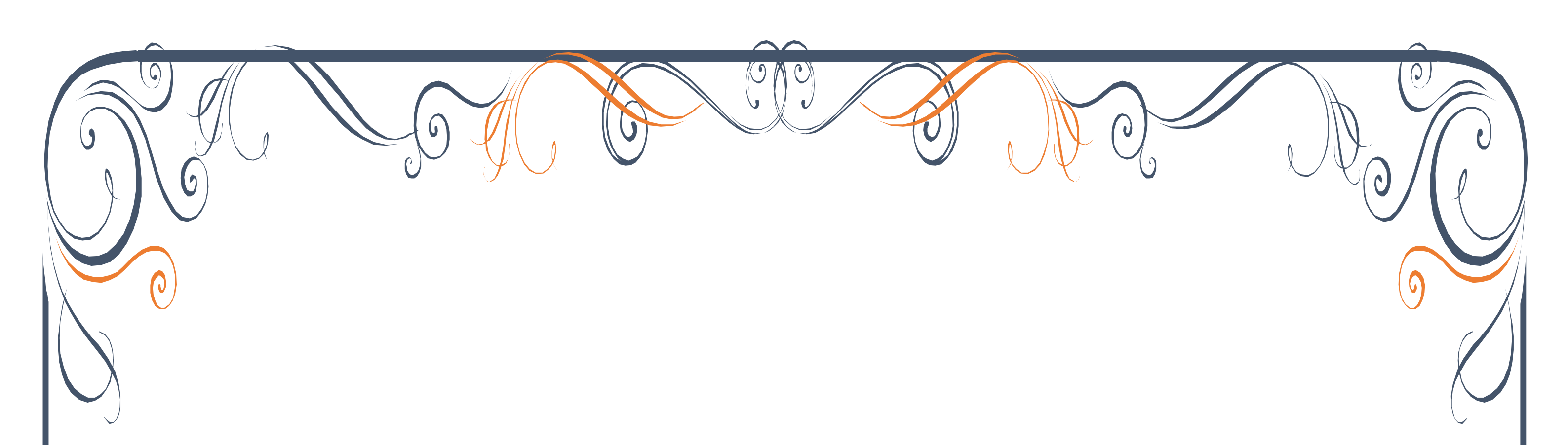
يحتـوى المكبس على حلقات (شـنابر) الضغط من (٣ : ٤) فى الجزء العلــوى (التاج) وهى تقوم بعمل احكام جيد لحيز غرفة الاحتراق لمنع التسريب، وتقوم أيضاً بنقل جزء من حرارة المكبس إلى القميص ومنه إلى مياة التبريد ، أما شـنابر الزيـت فتكون (١ أو ٢) وتتواجد تحتها، وربما يتواجد إحداها فى الجزء السفلى من الجذع ، وهى تقوم بتوزيع الزيت على سطح القميص وكذلك كشط الزيت الزائد إلى الكارتير .

وفى المحركات السريعة تستخدم عادة مكابس جذعية مكونة من قطعة واحدة من سبائك الألومونيوم لتقليل الوزن وجودة انتقال الحرارة ، ولها نفس قوة التحمل مثل حديد الزهـر . شكل (٢ ــ ٣٣ ب) مكبس لمحرك " بيلستك " متوسط السرعة وقدرة عالية مزود بملف تبريد بالزيت داخلى للمساهمة فى انتقال الحرارة .



Medium speed piston

شكل (٢ ــ ٣٣ ب)

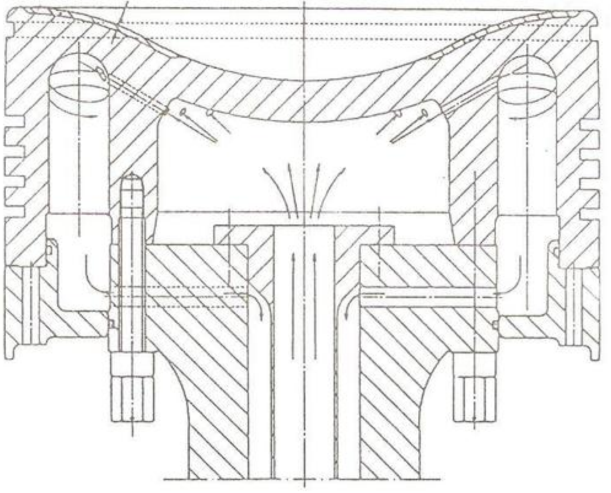


ب ـ مكابس تستخدم مع الرأس المنزلق : Cross – head piston

الشكل (٢ ـ ١٣٤ أ) يوضح أحد هذه المكابس لمحرك ديزل كبيـــر MAN–B&W ويبرد بالزيت وهى عبارة عن مكابس مركبة يصنع التاج من سبائك الصلب الـــذى يحتوى على الكروم والموليبدنم . ويثبت معه جذع قصير من حديد الزهر بمجموعـــة مسامير ، يحمل التاج على حلقة متينة من الداخل حيث تنقل القـــوة الناتجـــة مـــن الغازات إلى فلانجة عمود المكبس ، والتى تثبت معها بمجموعة مسامير تصل إلـــى عشرة .

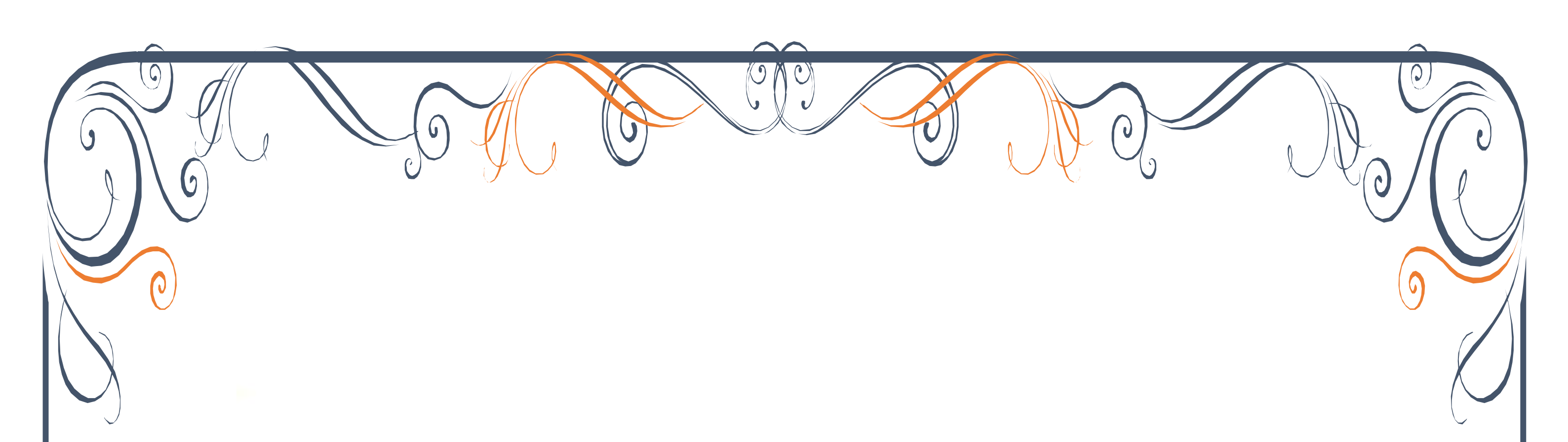
يحتوى هذا المكبس على أربعة شنابر ضغط ولا يوجد شنابر زيت ، حيث لا حاجة لها لأن كمية الزيت المحقونة للإسطوانة تكاد تكفى للتشغيل، ويوجه التصافى إلى حيز الكسح ومنه إلى صهريج الزيت القذر .

فى هذه الحالة يتم تبريد المكبس بالزيت ، حيث يدخل من بنز الرأس المنزلق إلى الماسورة الموجودة بمنتصف عمود المكبس إلى الغرفة الوسطى ومنه إلى ثقوب موازية للسطح لتساعد على جودة التبريد ، ثم إلى الحيز الدائرى ومنه إلى ثقوب أفقية بفلانجة عمود المكبس إلى مسارات الخروج بعمود المكبس .

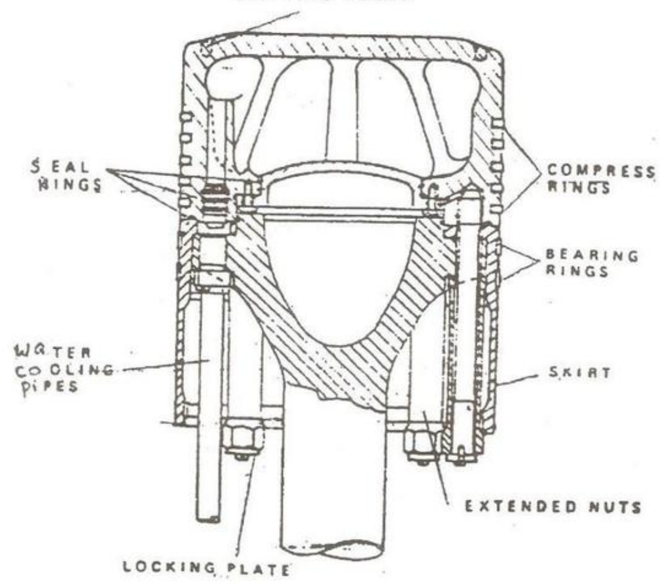


Oil cooled piston (MAN—B & W MC C)

شكل (٢ ـ ١٣٤ أ)



شكل (٢ ـ ٣٤ ب) مكبس لمحرك سولزر مكون من جزئين : التاج والجذع ، أما التاج فيصنع من الصلب المقاوم للحرارة وأما الجذع فيصنع من الحديد الزهر ويتميز الصلب المصبوب بالمتانة ومقاومة البرى ، وعليه يمكن تقليل التخانات إلى أقل ما يمكن فيتحسن انتقال الحرارة ويقل احتمال حدوث شروخ ، وكذلك يمكن زيادة المتانة بعمل أعصاب داخلية كما يتضح من الشكل .

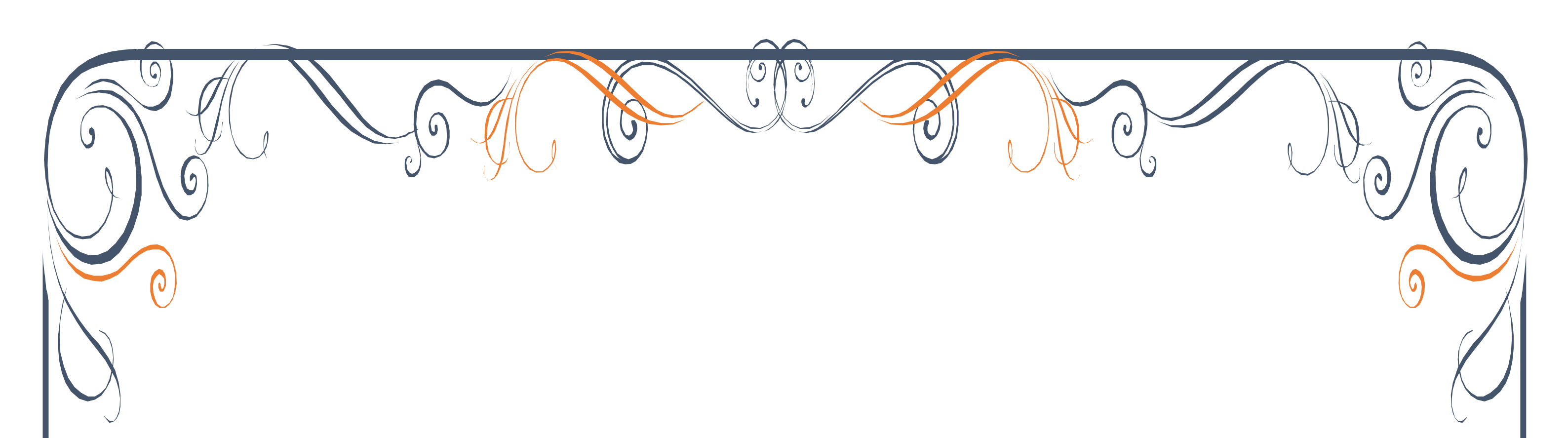


Water cooled piston (Sulzer RND)

شكل (٢ ـ ٣٤ ب)

ثانياً : من وجهة نظر التبريد :

تبريد المكابس ضرورياً للتخلص من الحرارة الزائدة من الاحتراق ولتقليل الاجهاد الحرارى ، وفى الوقت نفسه ليحد من التمدد وذلك للمحافظة على الخلوصات بين المكبس والقميص وكذلك خلوصات الشنابر ويتم التبريد إما بالزيت أو المياة .



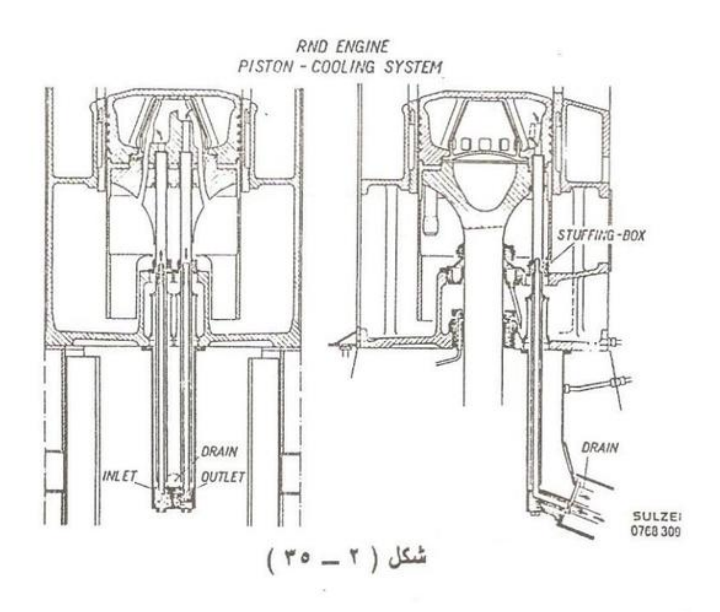
أ ـ التبريد بالماء : Water cooling piston

ـ يتميز الماء بالسعة الحرارية العالية عن الزيت ، كما أنه يمكن رفع درجة حرارة المياه الخارجيه إلى ٧٠ ° م وعليه فتكون الكمية المطلوبة أقل من الزيت .

ـ تحتاج المياه إلى إضافة الموانع Inhibitors باستمرار لمنع التآكل والترسيبات .

ـ يجب أن يكون لتبريد المكابس بالماء منظومة مستقلة ، وأمكن الحصول على تبريد أفضل بتأثيرخض الماء Coctail-shaker effect مع الاحتفاظ ببعض الهواء بالمكبس ، هذا مع وجود الموجهات الداخلية .

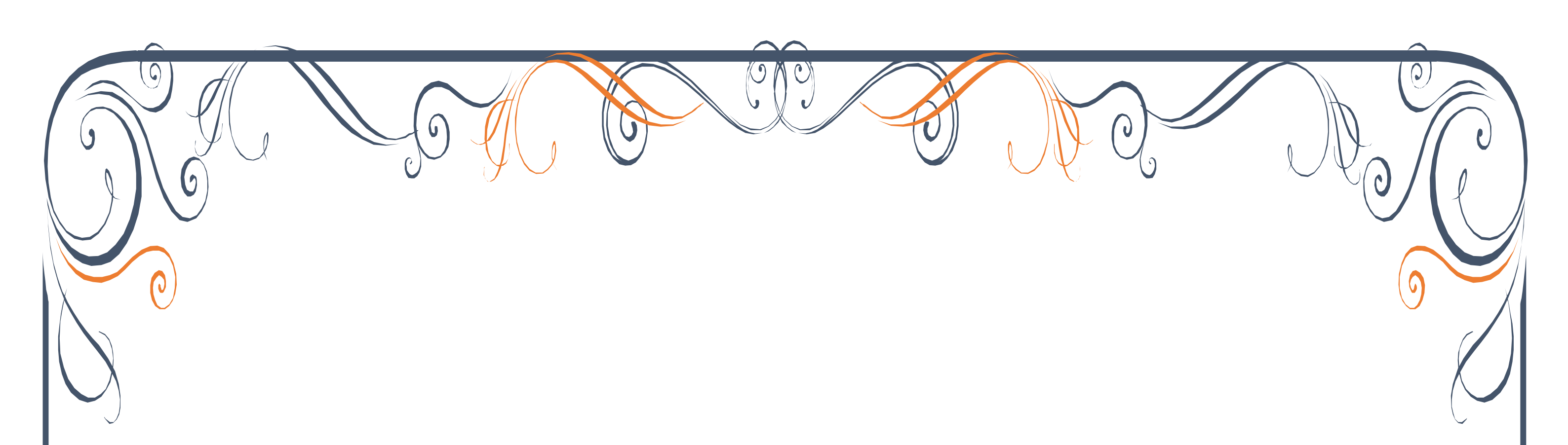
والشكل (٢ ـ ٣٥) يوضح دخول الماء من الماسورة التلسكوبية ودورانها داخل المكبس ثم خروجها ثانية فى محرك " سولزر " .

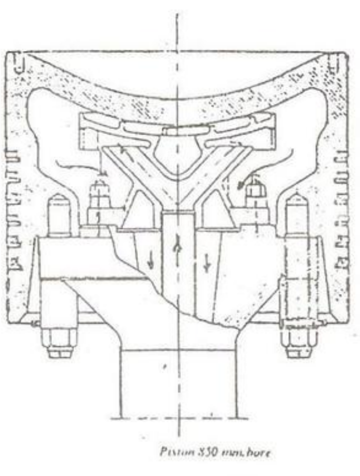


شكل (٢ ـ ٣٥)

ب ـ التبريد بالزيت Oil cooling piston

واضحاً من الشكل (٢ ـ ٣٤ أ ، ٣٦) أن دخول الزيت عن طريق الماسورة فى عمود المكبس ، ويتم تبريد التاج دائرياً ثم يتجه إلى أسفل عن طريق الثقب حول هذه الماسورة .





شكل (٢ ــ ٣٦)

ويفضل استخدام الزيت لتبريد مكابس المحركات نظراً للأسباب التالية :

ــ يتم التبريد عن طريق منظومة التزييت الجبرى .

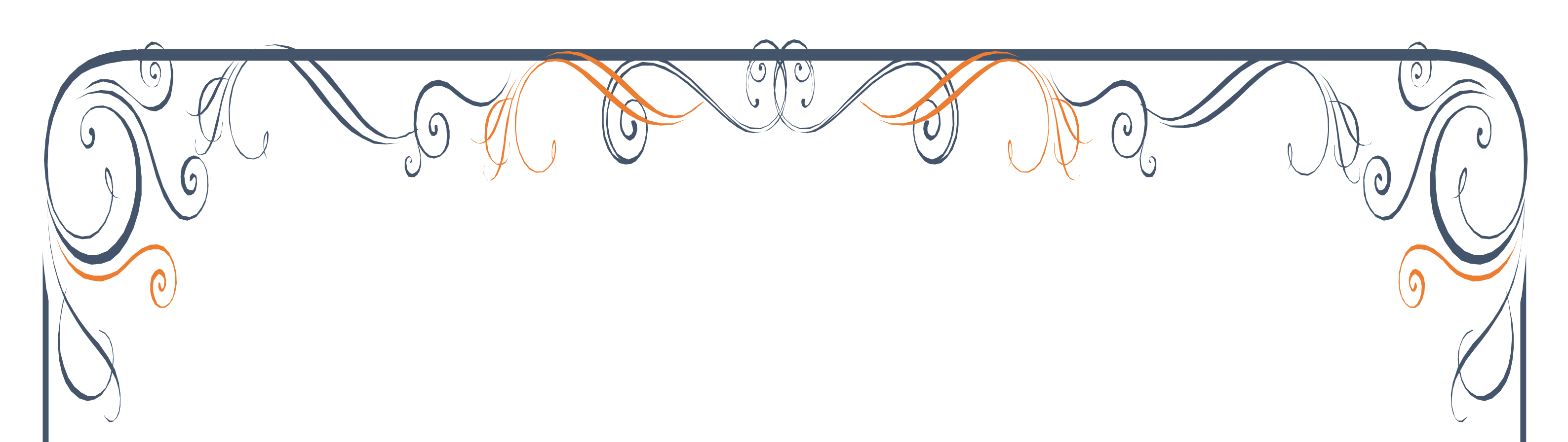
ــ تواجد ماسورة توصيل الزيت داخل الكارتير لا يعمل أى مشاكل عند حدوث التسريب .

ــ أى تفويت من زيت التبريد ليس له أثر ضارعلى زيت الكارتير .

ــ كما أن الزيت أقل من الماء توصيلاً للحرارة فإن الانحدار الحرارى يكون أقل وهو المستخدم حالياً فى معظم المحركات الحديثة بالرغم من :

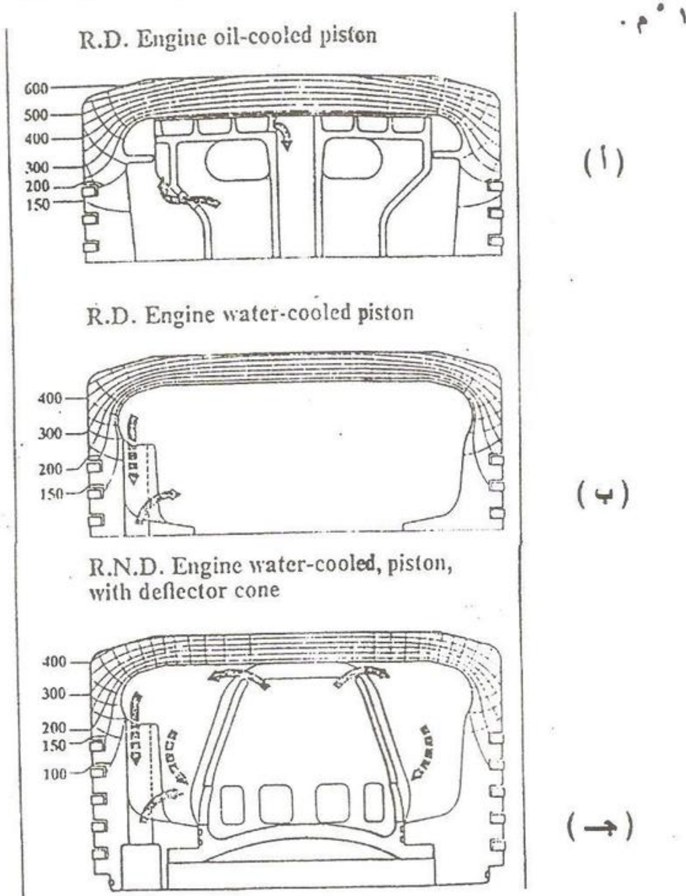
- السعة الحرارية للزيت أقل من المياه ، وعليه تتطلب الحاجة كمية أكبر .
- درجة حرارة الزيت الخارج يجب ألا تتعدى ٥٦° م، لتلاشى كربنته وما يترتب على ذلك من مشاكل الانتقال الحرارى أو انسداد ثقوب التبريد .
- كمية الزيت المطلوبة كبيرة فتحتاج إلى مضخة أكبر .
- زيت تبريد المكابس هو جزء من زيت منظومة التزييت فتعرضه للحرارة العالية قد يؤدى إلى تلف زيت المنظومة .

ملحوظة : يجب أن يكون الضغط ومعدل السريان كاف للتغلب على تأثير الحركة الترددية للمكابس .



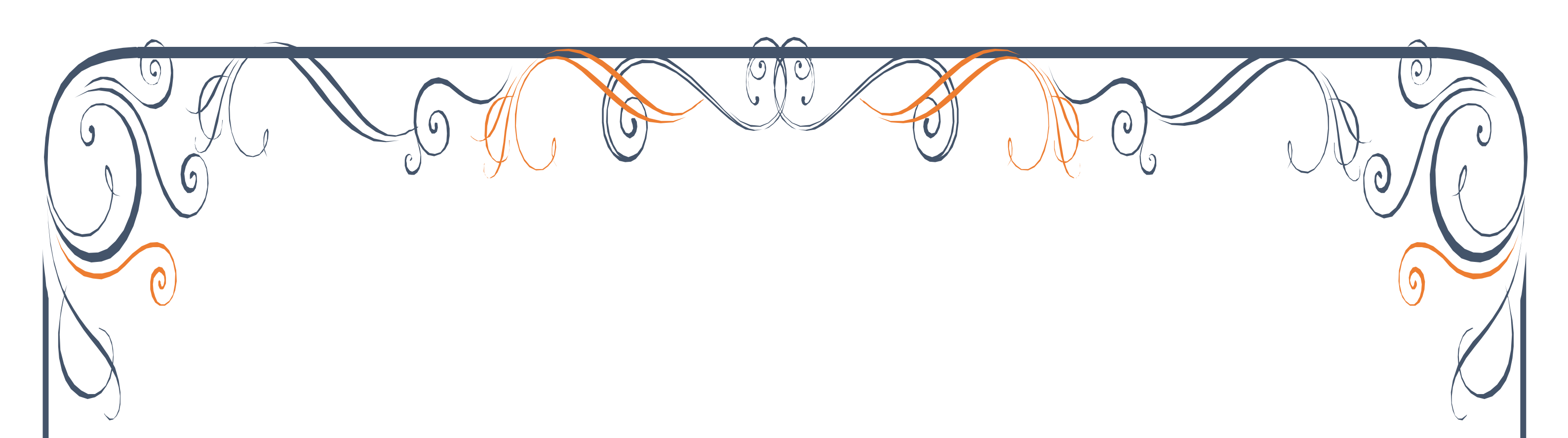
٢ ــ ٥ ــ ٣ : التوزيع الحرارى فى المكبس Piston temperature:

من شكل (٢ ــ ٣٧ أ ، ب) يمكن المقارنة بين درجات الحرارة على تاج المكبس لنفس المحرك RD عند استخدام تبريد الزيت وتبريد الماء . ويتضح مدى انخفاض درجة الحرارة فى (ب) عن (أ) أى أن أقصى درجة حرارة تكون عند الحافة العلوية وتنخفض من ٦٠٠ ° إلى ٤٥٠ ° ، ودرجة الحرارة خلف الشنبر الأول تنخفض من ٢٠٠ ° إلى ١٥٠ ° م .



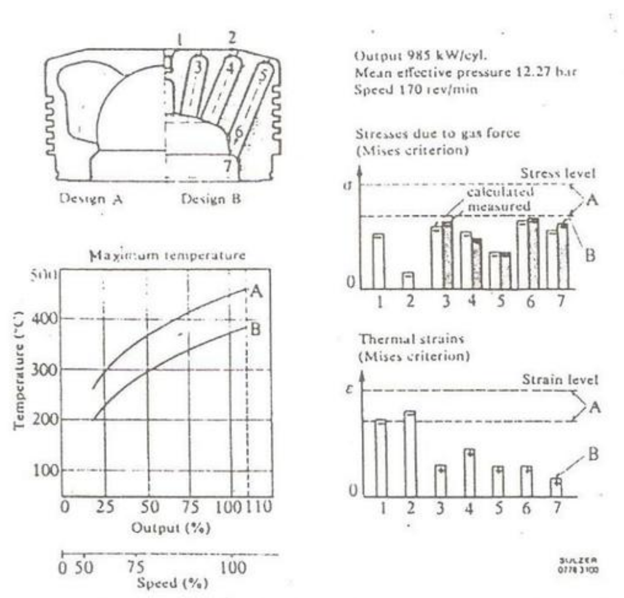
Temperatures (°C) in Sulzer pistons at mep of 10kg/cm².
(Courtesy Sulzer Bros Ltd)

شكل (٢ ــ ٣٧)



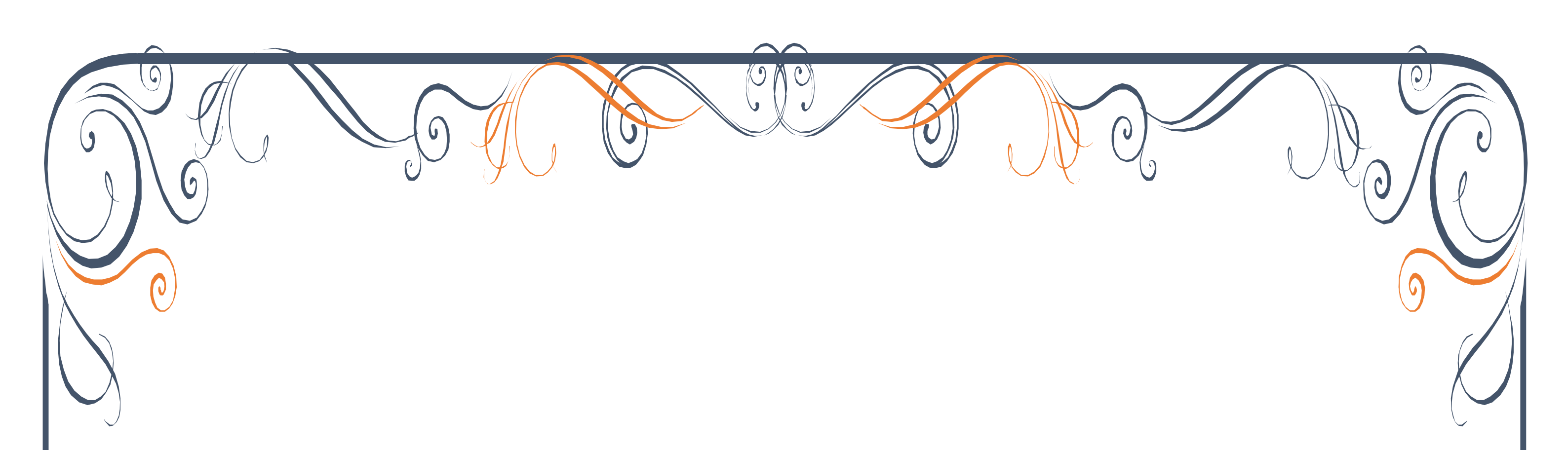
أما فى الطراز RND الأكثر تطويراً شكل (٢ ــ ٣٧ جـ) فإن تاج المكبس يصنع من سبيكة الصلب المصبوب ، وتزود بأعصاب وموجهات لمياة التبريد ، وبالرغم مــن زيــادة قطر المكبس وارتفاع الضغط المتوسط الفعال (١٠,٨٥ كج / سم٢) فإن درجة الحــرارة خلف الشنبر الأول تصل إلى ١٢٥ ° م .

والشكل (٢٠ ــ ٣٨) يوضح الفرق بين استخدام تصميمين مختلفين لتبريــد المكــبس النصف الأيسر (A) تبريد عادى ، والنصف الأيمن (B) يتم تبريده عن طريق ثقــوب تبريد خاصة Bore-cooled لمحرك سولزر RLA 56 سرعته ١٧٠ لفة / دقيقة – الضــغط المتوسط الفعال ١٢,٧ بار ــ وقدرة الوحدة ٩٨٥ كيلووات .



RLA 56 engine: comparison of maximum temperature and stressing on the conventional ribbed cast steel piston (design A) and on the bore-cooled piston (design B).

شكل (٢ ــ ٣٨)



ويتضح من علاقة درجة الحرارة مع القدرة أن أقصى درجة حرارة على سطح تاج المكبس فى التصميم (B) تقل بـ ٧٠° عنها فى التصميم (A) .

وكذلك يتضح أن مقدار الاجهادات والانفعالات فى النقط لمختلفة على تاج المكبس نتيجة قوى الغازات والاجهاد الحرارى تقل فى حالة استخدام التبريد عن طريق الثقوب Bore-cooling .

والشكل (٢ ـ ٣٩) يوضح مكبس مبرد بالماء لمحرك سولزر RTA مع العمود .

يصنع المكبس من الصلب المصبوب ، ويستخدم طريقة التبريد بالثقوب Bore-cooling ويلاحظ أن عمق الثقوب يتبع ميل السطح ليساعد على التبريد الأفضل .

يدخل الماء ويخرج عن طريق المواسير التلسكوبية المثبتة فى الفاصل والمعزولة تماماً عن حيز المرفق .

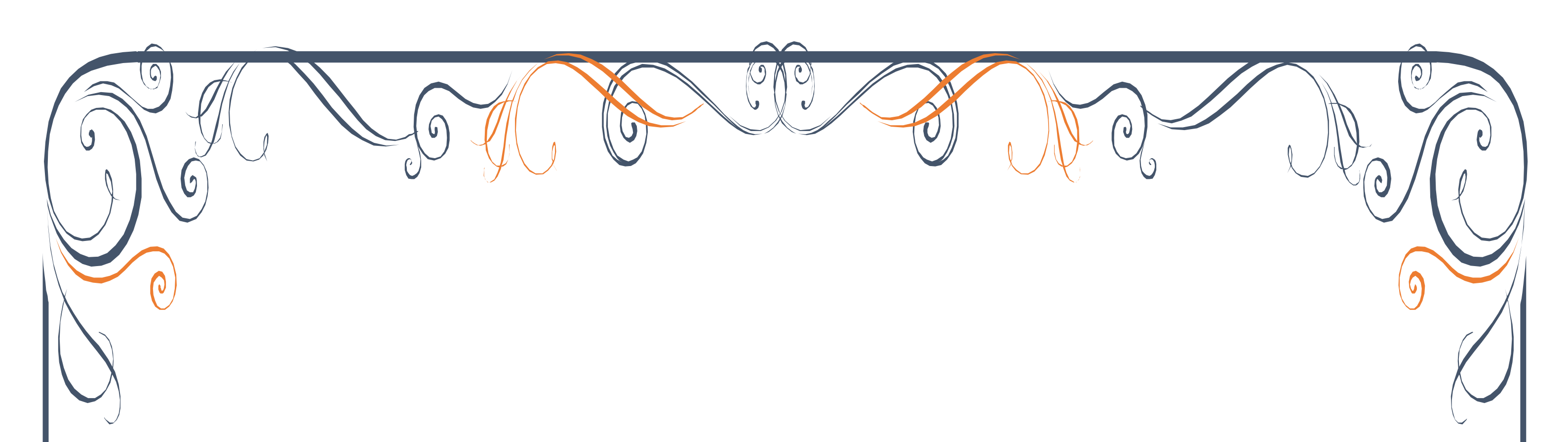
يزود المكبس بخمسة شنابر فى المجارى المطلاة بالكروم ويوجد حلقتين برى بالجذع Wear-Rings المصنوع من حدي الزهر .

<u>وليكن معلوماً أنه قد اتبع تبريد المكابس بالزيت فى المحركات السولزر الحديثة .</u>

CAST ALLOY STEEL PISTON
FIVE C.I. PISTON RINGS
CAST IRON PISTON SKIRT
COOLING WATER TELESCOPIC PIPES
BORE COOLING HOLES
LEAD BRONZE WEAR RING
WAISTED STUD BOLTS
PISTON ROD - FORGED STEEL
DOWEL
CROSSHEAD
PISTON ROD NUT

Water cooled piston with rod (Sulzer RTA 58)

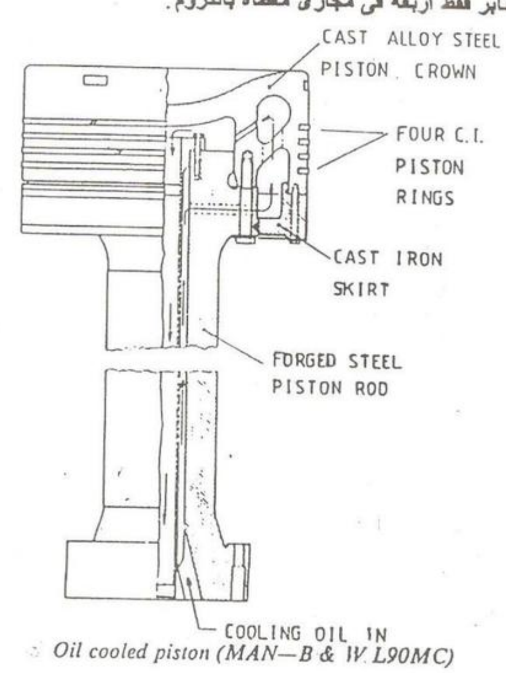
شكل (٢ ـ ٣٩)



الشكل (٢ ــ ٤٠) لمكبس محرك MAN – B&W MC يصنع التاج مــن ســبائك الصلب التى تحتوى على الكروم والموليدنم ، ويراعى فى التصميم الكفاءة العالية للتبريد ، والنقل المباشر للحمل إلى عمود المكبس والمثبت مع الجذع .

يدخل زيت التبريد ويخرج عن طريق مسارات تعمل على التبريد الكفء .

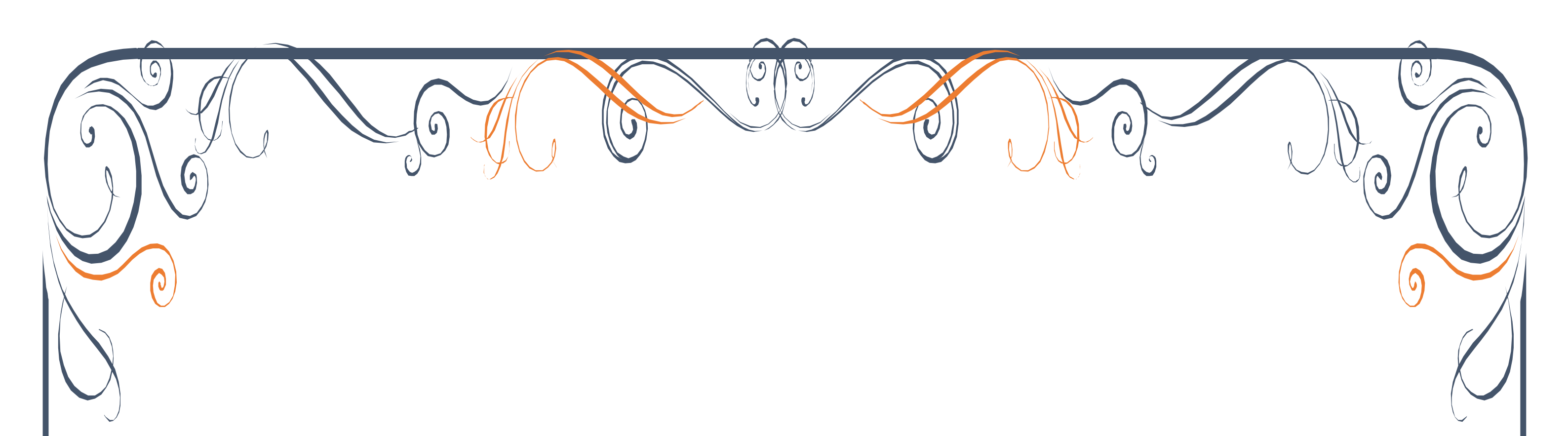
عدد الشنابر فقط أربعة فى مجارى مغطاة بالكروم .

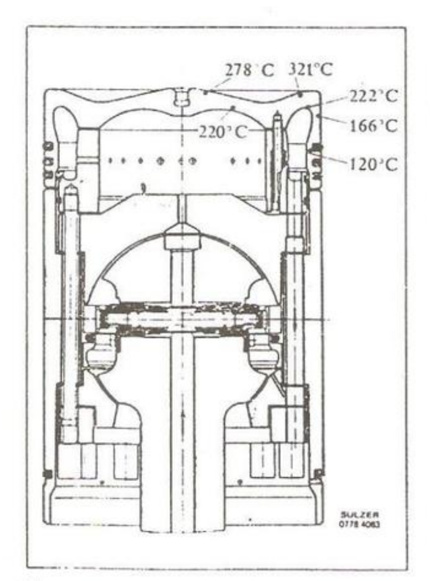


Oil cooled piston (MAN—B & W L90MC)

شكل (٢ ــ ٤٠)

والشـــــكل (٢ ــ ٤١ أ) لمكبس دوار لمحرك (سولزر) رباعى الأشــــواط طراز Z40/48 متضمن ملف تبريد داخلى ويوضح عليه درجات الحرارة فى النقط المختلفة ، أما الشكل (٢ ــ ٤١ ب) فهو للتصميم المعدل لهذا المكبس وتستخدم فيه طريقــة التبريــد بواسطة ثقوب Bore-cooling كما هو واضح فى الرسم .





(أ) Rotating piston of the medium-speed engine Z40/48. Temperatures measured at 530 rev/min and 533 kW cylinder output.

(ب) Proposed bore-cooled piston design for four-stroke engines. A simple, direct bolted joint is possible for the rotating piston.

شكل (٢ ـ ٤١)

من هذا يتضح أنه باتباع طريقة التبريد بعمل ثقـوب Bore-cooling فـى الأجـزاء المحيطة بغرفة الاحتراق أعطت مزايا عديدة من ناحيتى اقتصادية التصنيع نظـراً لتطـور معدات عمل الثقوب المتعددة فى المرة الواحدة وكذلك من ناحية تحسين ظروف التشغيل .

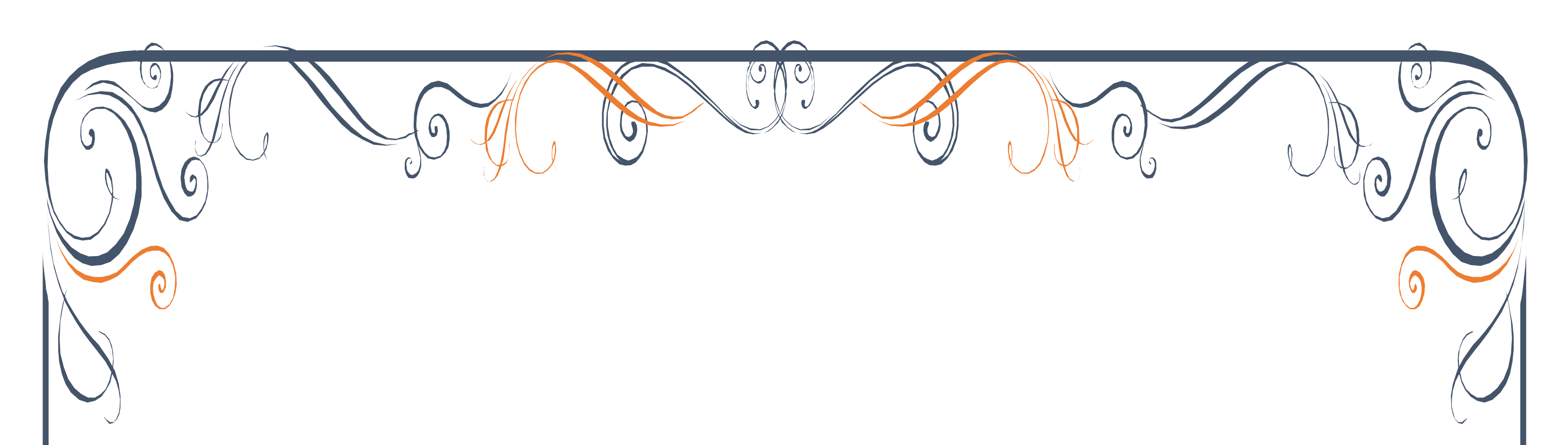
٢ ـ ٥ ـ ٤ الاجهادات الحرارية والميكانيكية التى يتعرض لها المكبس

Thermal and mechanical stresses

يعمل المكبس فى ظروف قاسية حيث أنه يتعرض لـ :

أ) الاجهادات الميكانيكية Mechanical stresses : من الضغوط الناتجة عن الاشـتعال والاحتراق .

ب) الاجهادات الحرارية thermal stresses : يلاحظ من شكل (٢ ـ ٣٧) أن أكبر

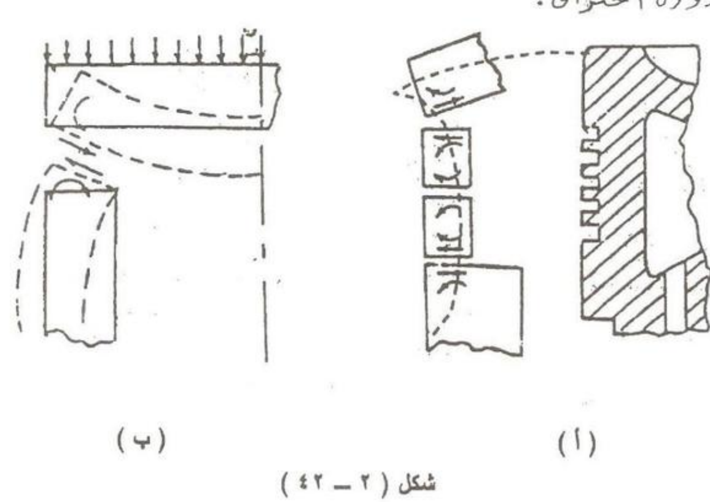


درجات حرارة عند الحافة العلوية ، والفارق كبير بينها عند السطح الخارجى الملاصق للغازات والداخل الملاصق لمياة التبريد ، وهذا الاختلاف يعتمد على تخانة المعدن ، كلما زادت التخانة كلما زاد الفرق (Δt) وكلما زاد الاجهاد الحرارى .

من الواضح أن السطح الخارجى الملاصق للغازات سوف يتمدد بتأثير درجات الحرارة العالية (بعكس الأجزاء الأخرى الأقل فى درجات الحرارة) ويميل إلى التحدب Convex ويقع تحت تأثير اجهاد الشد شكل (٢ - ٤٢ أ) .

ومن جهة أخرى تعمل الغازات ذات الضغوط المرتفعة على اتخاذ الشكل المقعر Cancave أى تقلل اجهادات الشد السابقة كما يتضح فى شكل (٢ ــ ٤٢ ب) .

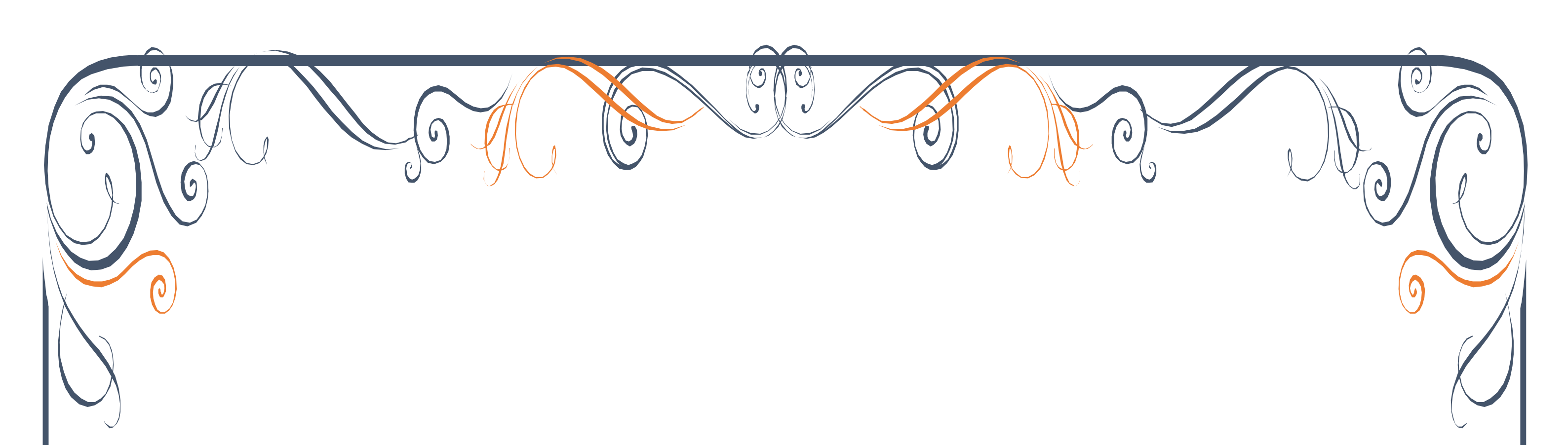
وبتكرار ذلك يمكن أن يتعرض المكبس للشروخ وتنتشر من الداخل إلى الخارج وخاصة عند مجرى الشنبر الأول ، نتيجة لاجهادات الشد المتغيرة عند درجات الحرارة المرتفعة ء كل دورة احتراق .



(ب) (أ)

شكل (٢ ــ ٤٢)

– هذا بالإضافة إلى أن سطح التاج الملاصق للحريق قد يتعرض للزحف وعليه يقع تحت تأثير اجهادات الشد ، وبالتالى تظهر الشروخ .



٢ ـ ٥ ـ ٥ حلقات المكابس (الشنابر) Piston rings

يعتمد التشغيل الكفء لأى اسطوانه تماماً على درجة الأحكام بين حلقات المكبس وجلبة الاسطوانة ، ويقل ضغط الانضغاط ويتبعها نقص القدرة إذا وجد أى تسرب بينها .

ويختلف عدد الشنابر باختلاف نوع المحرك ، ويعتمد عددها على سرعة المكبس وعلى أقصى ضغط فى الاسطوانه ، وهى تنقسم إلى حلقات ضغط Pressure rings وحلقات زيت Lubricating oil rings .

والغرض من وجود حلقات الضغط هو منع تسرب غازات الاحتراق من غرفة الاحتراق إلى صندوق المرفق ، وكذلك لنقل الحرارة من تاج المكبس إلى مياة التبريد ، أما أهمية حلقات الزيت (إن وجدت) فهى تساعد على توزيع زيت التزييت على جدار الاسطوانة بالتساوى كما تعمل على التخلص من الزيت الزائد لمنع وصوله لغرفة الاحتراق .

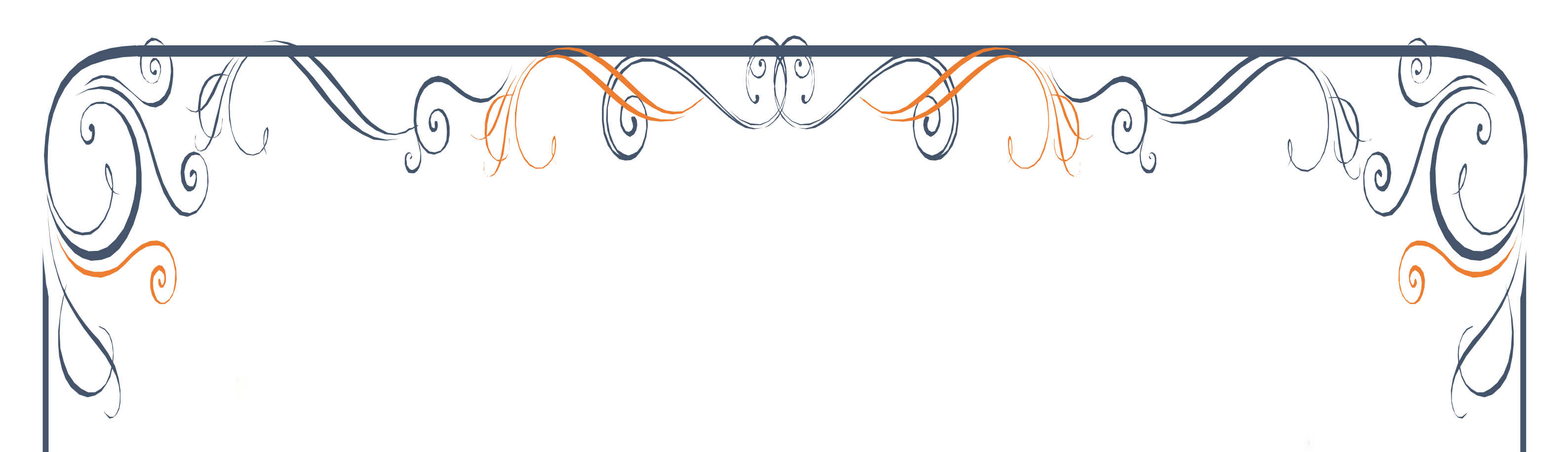
<u>وتصنع الحلقات من معدن يجب أن يتوافر فيه الآتى :</u>

١. المتانة العالية ليقاوم الاجهادات الواقعة عليها من غازات الاحتراق والصدمات Chocks عند تغيير اتجاه المكبس .
٢. المقاومةالعالية للبرى Wear والتآكل Corrosion .
٣. خاصية التزييت الذاتى Self-lubricating .
٤. المرونة الكافية لامكانية تركيبها فى المجارى ، مع العودة لحالتها الأصلية للاحتفاظ بالتلامس مع الجلبة كل الوقت .
٥. عدم الانبعاج Distorsion نتيجة درجات الحرارة العالية .
٦. الملاءمة Compatible مع معدن القميص الذى يعمل معه .

<u>وأن أفضل المعادن لتحقيق النقاط السابقة هى :</u>

أ- الحديد الزهر العادى Ordinary C.I ويتميز بخاصية التزييت الذاتى ومقاومة البرى ويحتوى على نسبة كبيرة من الجرافيت . (التى تقلل المتانة) .

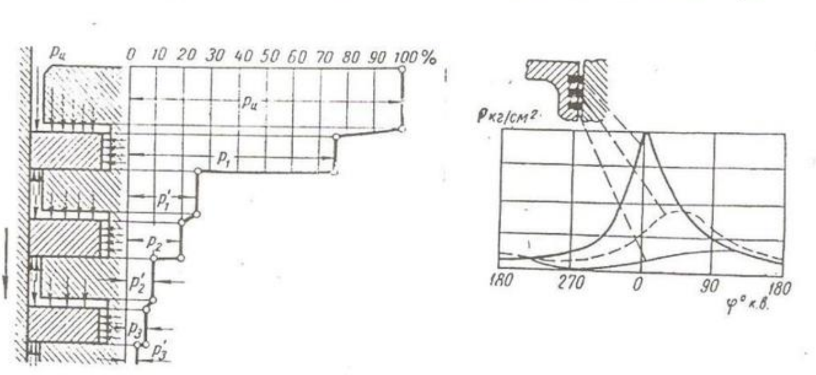
ب- سبائك الحديد الزهر Alloyed C.I : وهى تحتوى على المولبدنوم والنيكل والنحاس أو الثاديوم والنحاس ، وتتميز بالحبيبات الدقيقة وتكوين جيد للجرافيت .



ج- الحديد ذات الجرافيت الكروى Spheriodial graphitic Iron ويتميز بالمقاومة العالية للبري ، ولكنه يقل عن الحديد الزهر العادى من جهة التزييت الذاتى وعادة يغطى بطبقة من الكروم .

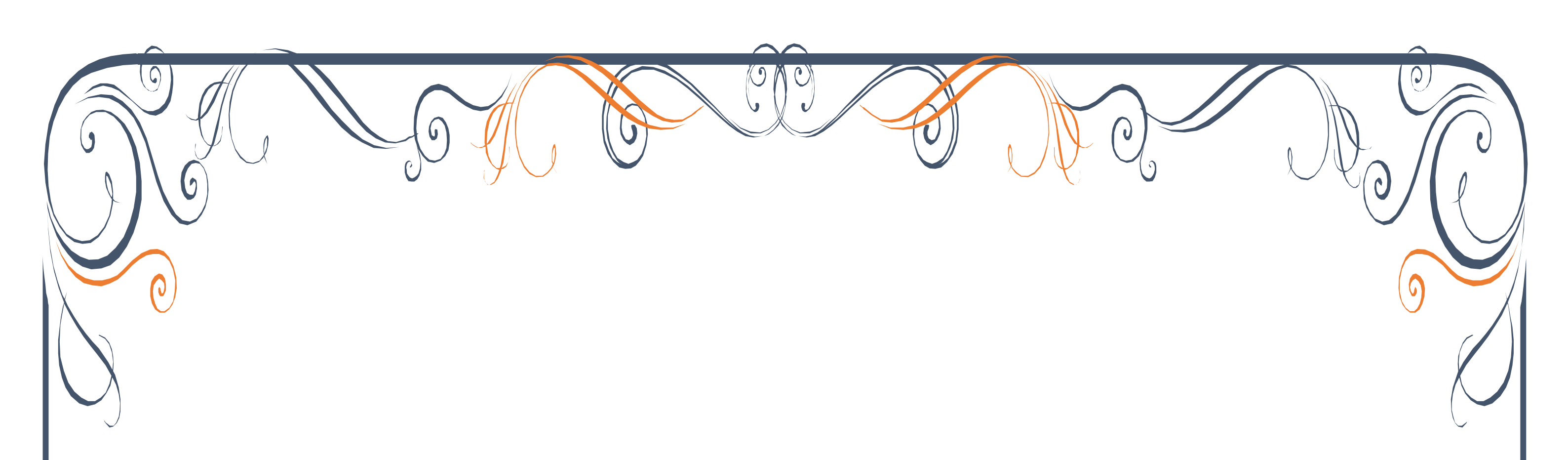
ودائمًا ما تعالج الحلقات حرارياً لتحسين خواصها وبدون التأثير على الجرافيت. وتصنع حلقات المكبس Piston rings manufacture إما بالصب الساكن لاسطوانة فى قالب رملى ثم تقطع منها الحلقات أو بصب حلقات مفردة ، وإما بالصب بطريقة الطرد المركزى Centrifugally casting للحصول على اسطوانة ذات حبيبات دقيقة وتقطع منها الحلقات . وإذا استخدمت الطريقة الأولى أمكن الحصول على الشنبر الغير دائرى أولاً (قبل التركيب) ثم يعطى الدوران التام بعد تركيبه بالأسطوانه ، والشنابر المصنعة بهذه الطريقة باهظة التكلفة ولكنها ممتازة فى التشغيل .

ولكن تصنع معظم الشنابر من اسطوانات يتم تشطيبها إلى القطر المناسب ، ويجرى عليها عملية شد Tensioning على البارد للسطح الداخلى بالدق Harmaring أو الدحرجة Rolling وذلك لتكتسب إمكانية الضغط القطرى على سطح الجلبة ويصل ضغط الشنبر على سطح الجلبة حوالى ٢ : ٣ بار ، ويساعد ضغط الغازات كذلك على الإحكام كما هو مبين بالشكل (٢ ــ ٤٣) حيث تضغط الغازات بقوة على السطح العلوى للشنابر مما يجعلها تقعد فى مجاريها على سطحها السفلى تاركة خلوصاً معيناً فى أعلاها وخلفها ، تنفذ منه الغازات ذات الضغط العالى حيث تضغط بدورها على الشنابر من الخلف فيزيد بذلك الإحكام ، وقيم الضغط متفاوتة من أقصى قيمة فى الشنبر العلوى إلى أقل قيمة فى الشنبر السفلى .



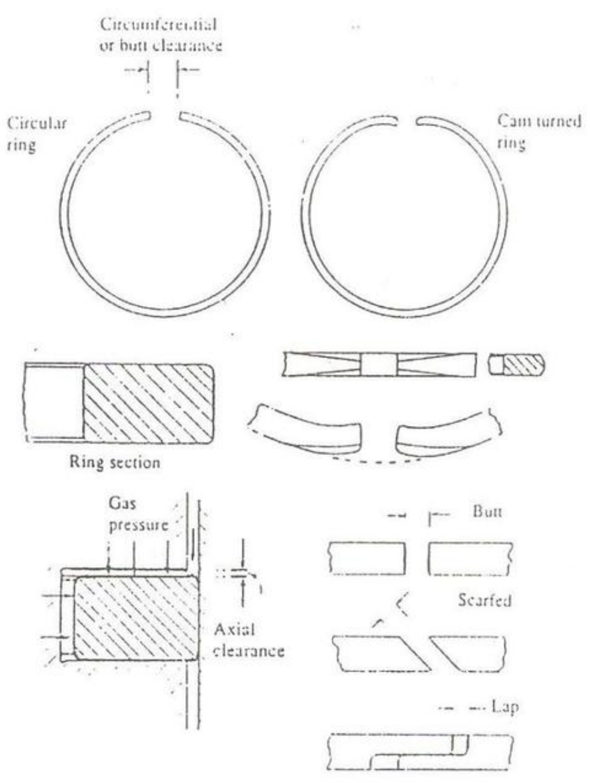
شكل (٢ ــ ٤٣)



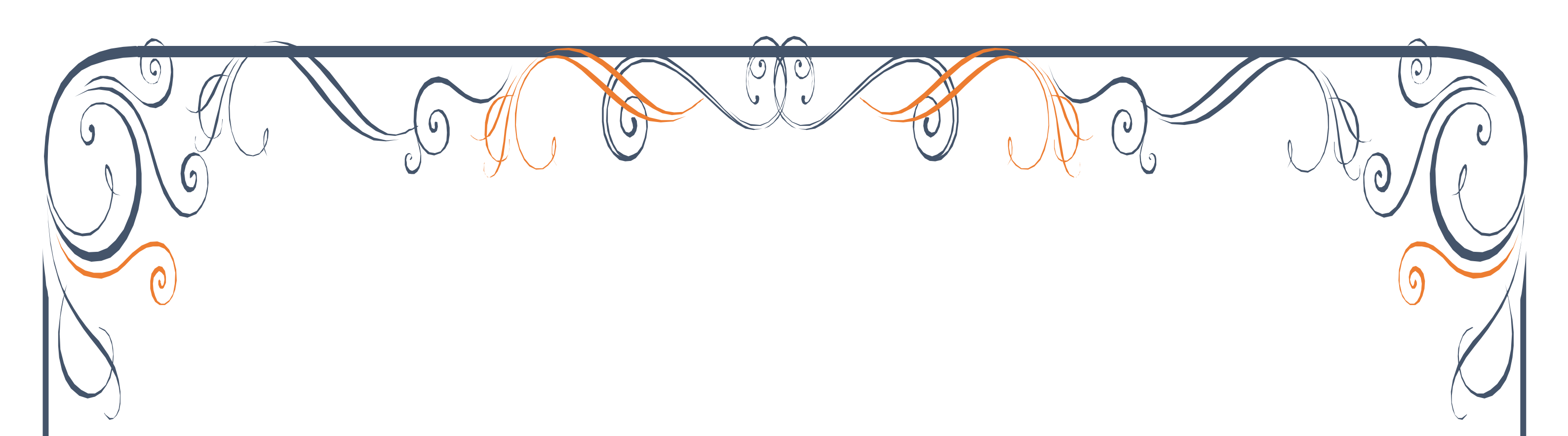


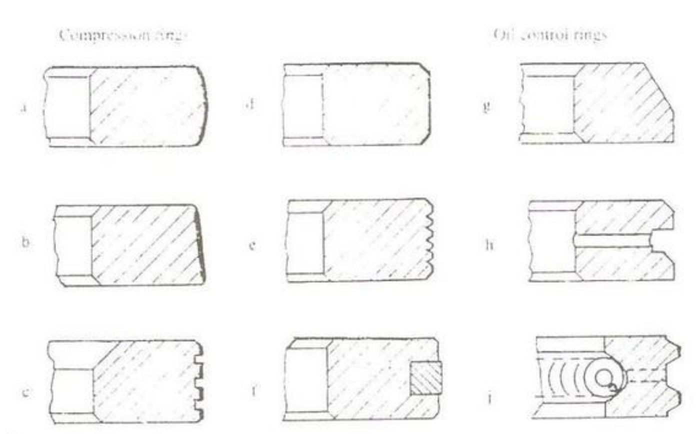
بالنسبة لمحركات الديزل الكبيرة ثنائية الأشواط ، تصنع معظم الشنابر من سبائك حديد الزهر الرمادى والذى يحتوى على الكروم والموليبدنم والفانديوم والتيتانيوم والنيكل والنحاس ، وفى بعض الحالات يفضل تصنيع الشنبر الأول من حديد الزهر ذات الجرافيت الكروى .

ويكون مقطع الشنبر مستطيل ذات أركان ملفوفة حيث أنها تساعد على تكوين خابور زيت يساعد على تزييت الشنبر فى المجرى ويمنع من التصاقه كما يتضح من الشكل (٢ ـ ٤٤)



شكل (٢ ـ ٤٤)



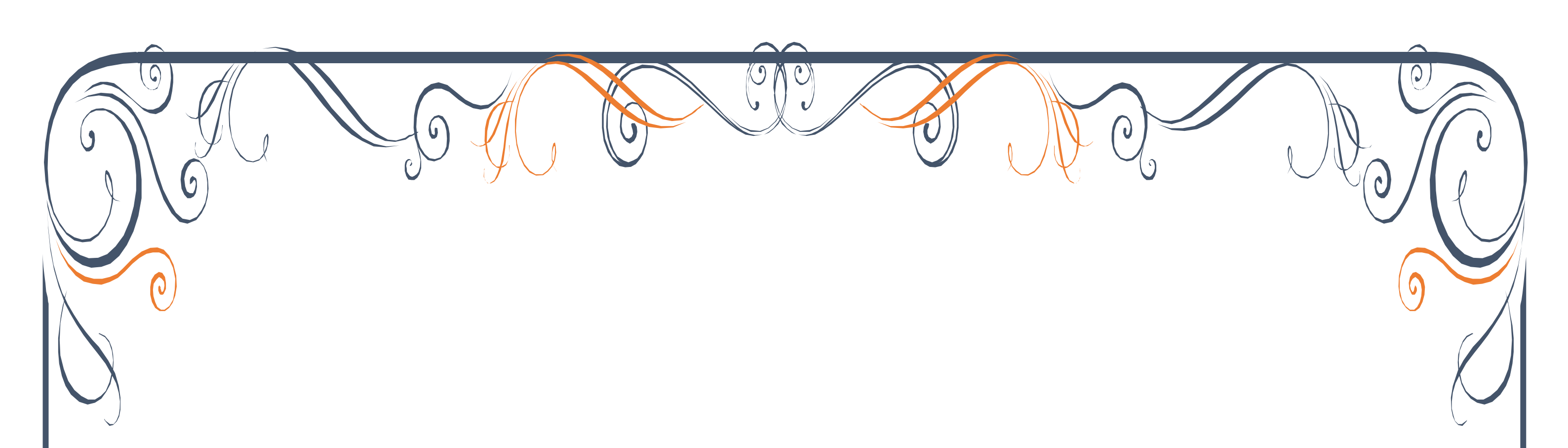


... Trunk piston rings: (a) Barrel face used with plasma, chrome or copper surface plating; (b) Taper face used with plasma, chrome or copper; (c) Serrated: used for chrome or copper; (d) Plain: can be copper plated; (e) Grooved: copper plated; (f) Bronze insert; (g) Single edge oil scraping; (h) Double edge with oil drain holes; (j) Conformable: low inertia supported by spring loading

شكل (٢ ــ ٤٥)

و بالنسبة لمحركات الديزل متوسطة السرعة تكون حلقات الضغط ذات أشكال مختلفة وحلقات الزيت ذات أشكال أخرى كما هو الحال فى شكل (٢ ــ ٤٥) ، ويكون عددها من واحد إلى ثلاثة ، ويزال الزيت الزائد من جدران الاسطوانه عن طريق الحافة الحادة ، حيث ينقل عن طريق فتحات موجودة فى جدران المكبس ليسقط بعد ذلك إلى صندوق المرفق .

وتستخدم عدة طرق للاقفال ، وهى الرأسية والمائلة وذات اللسان شكل (٢ ــ ٤٤) ، الرأسية والمائلة أقل تكلفة فى الإنتاج ، أما ذات اللسان فهى أكثر إحكاما ولكنها معقدة التصنيع ومكلفة .



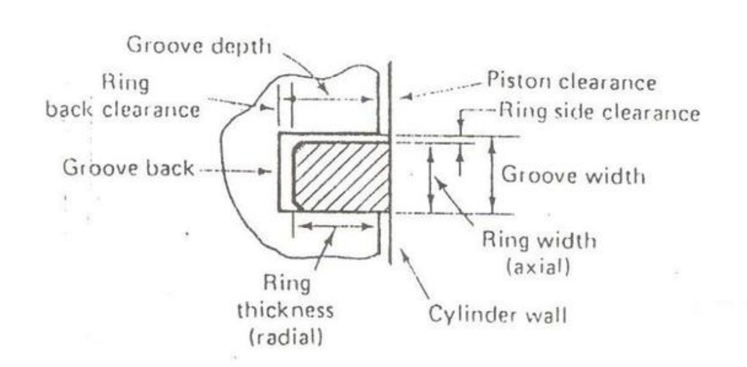
تتعرض مجارى الشنابر لقوى كبيرة أثناء المشوار الفعال ولكى تتحمل ظروف التشغيل الصعبةولتقليل الانهيار بالبرى والحك فعادة تطلى بالكروم أو تعالج حرارياً أو تزود بحلقات خاصة يمكن تغييرها .

كما أنه بالنسبة لمحركات الديزل متوسطة السرعة ذات القدرات العالية والتى تستخدم الوقود الثقيل ، فيفضل لها استخدام شنابر ذات مقاطع خاصة أو المطلاة بالكروم أو التى تتضمن حلقات من معدن آخر Insert كما هو فى الشكل (٢ ـ ٤٥) . وحيث أن الشنبر الأول يتعرض للحرارة والضغوط العالية جداً ، فكثيراً ما تكون مغطاة بالكروم أو البلازما .

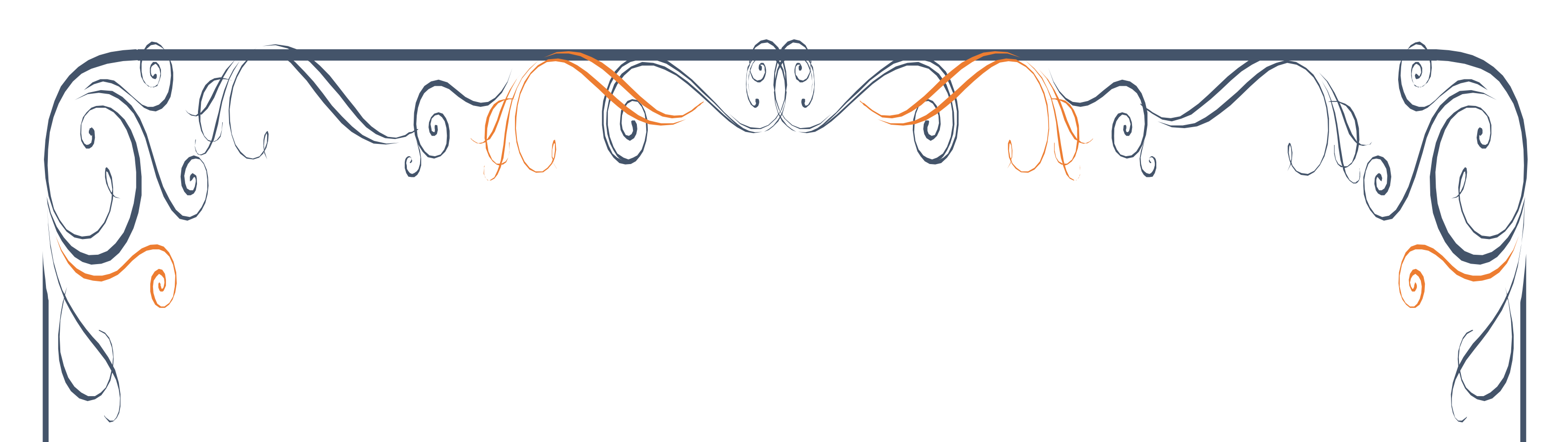
ملحوظة :

التغطية بالبلازما تتم بواسطة انصهار مسحوق معدن ذات صلادة عالية مثل الموليدنم أو الكروم على السطح باستخدام شحنة كهربية .

ويجب أن يكون الشنبر سهل الحركة فى المجرى وذلك بوجود خلوص رأسى وخلوص افقى . والشكل (٢ ـ ٤٦) يبين وضع الشنبر أثناء صعود المكبس .



شكل (٢ ـ ٤٦)



ويجب مراعاة التالي :

أولا : الخلوصات الرأسية Vertical clearances فهى كالآتى :

قطر الأسطوانه	ترتيب الشنبر	مقدار الخلوص
إلى ٤٠٠ مم	الأول	٠,١٢ : ٠,٢مم
	الأخرى	٠,٠٨ مم
أكبر من ٦٠٠ مم	الأول	٠,٤ مم
	الأخرى	٠,٢ مم

ويتم قياسها بالفيلر والشنبر فى مكانه بالمجرى ، وهى مهمة لتسمح بمرور الغازات للضغط على الشنبر من الخلف فيزيد الاحكام ، ويزداد هذا الخلوص بالتشغيل ، وهو غير منتظم ، فلا يسمح بتغييره من مكانه أثناء الصيانة .

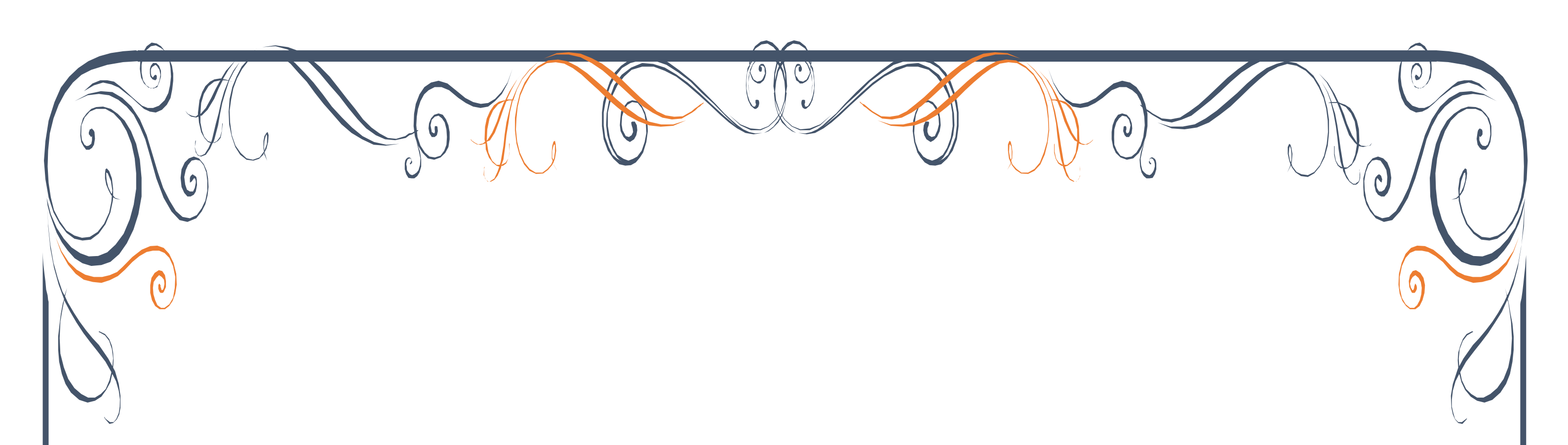
ثانيا : وخلوص الفتحة Gap clearance وهو ضرورى ليسمح بالتمدد الحرارى للشنبر ويكون فى الحدود التالية :

قطر الأسطوانة	مقدار الخلوص
إلى ٤٠٠ مم	من ٠,٣ : ٠,٤ % من القطر
أكبر من ٦٠٠ مم	من ٠,٥ : ١ % من القطر

ويجب الا يزيد هذا الخلوص عن هذه القيم حتى لا تساعد على تهريب غازات الاحتراق ، ويتم قياسها بالفيلر حيث يوضع فى القميص فى الأماكن التى بها أقل برى .

ملحوظـــة :

البرى المحيطى Circumferential wear للشنبر،ويتم قياسه بمقدار النقص فى العرض القطرى للشنبر وزيادته يعنى زيادة خلوص الفتحة وكذلك الخلوص الخلفى الموضح بالرسم شكل (٢ ــ ٤٦) ولا يسمح بزيادة هذا البرى عن حدود معينة لأنه يساعد على هروب



الغازات وحرق طبقة الزيت ، وقد يؤدى إلى كسر الشنبر أو قفش المكبس ــ وعليه فــإن الصانع يحدد أقصى قيمة للبرى من عرض الشنبر المسموح به ولا يجوز تجاوزها .

٢ ــ ٥ ــ ٦ : العيوب الشائعة فى حلقات المكبس وأسبابها

Piston ring defects and their causes :

١. عيوب تركيب ، وتظهر عند عدم مراعاة الخلوصات السليمة ، فإذا قل الخلوص ترتفع درجات الحرارة ويزيد البرى ويزيد تفويت الغازات ، ويتعرض الشــنبر للكسر ، وإذا زاد الخلوص يتلف سطح المجرى وربما ينكسر الشنبر وزيــادة تفويت الغازات تحرق طبقة الزيت .
٢. اتساخ المجرى بتراكم رواسب على سطحها (سواء نتيجة التزييت الزائــد أو الاحتراق الغير تام) مما يسبب زرجنة الشنبر أو كسره .
٣. التآكل نتيجة مهاجمة الأحماض الناتجة عن احتراق الوقود للشنبر .
٤. إذا تكونت حافة حادة للشنبر فسيؤدى إلى ضياع طبقة زيت التزييت .
٥. نظراً للبرى الغير متساوى فى قطر الاسطوانة ، يختلف قطر الشــنبر أثنــاء المشوار وهذا يزيد من البرى بين سطحى الشنبر والمجرى .
٦. انقلاب سير الغازات والتى تحاول المرور بين الشنبر والقميص بدلاً من خلف الشنبر وذلك نتيجة انسداد الخلوص الرأسى بالكربون .

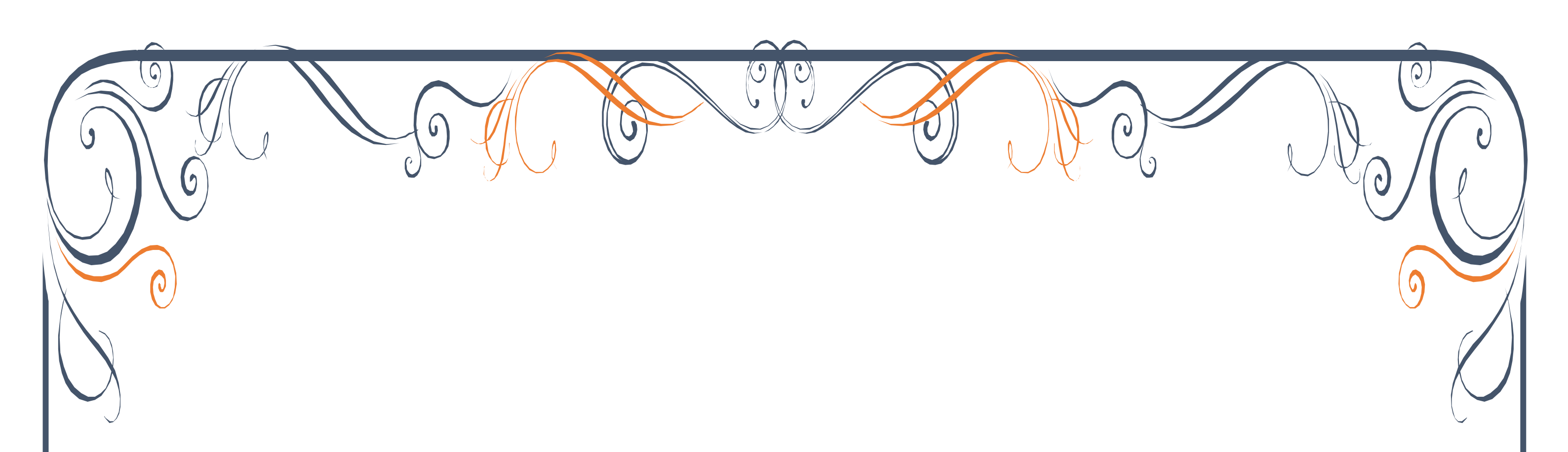
٢ ــ ٥ ــ ٧ : الكشف على المكبس والشنابر :

Inspection of piston and rings

إن عملية الكشف على المكبس والشنابر هى عملية دورية ، وتعتمد الفترة بين الكشف والآخر على :

قطر المكبس ، المعدن ، طريقة التبريد ، سرعة المحرك ، نــوع المحــرك ، نــوع الوقود المستخدم ، وزيت التزييت .

وتزيد هذه الفترة عادة فى لمحركات الرباعية الأشواط (حوالى ٦٠٠٠ ســاعة) عــن ذلك فى المحركات الثنائية الأشواط ولكن يمكن الكشف على شنابر مكبس المحرك الثنــائى من فتحات الكسح دون رفع المكبس .



ووجود الرواسب الكربونية على تاج المكبس أو حرق السطح يدل على عدم الاحتراق الجيد للوقود أو ضعف التبريد .

ويجب أن تكون الشنابر حرة فى المجارى ، لامعة السطح ، غير مكسورة ، ويتم شطف السوكة Sharp edge بالمبرد إذا لزم ذلك .

يتم مراجعة خلوصات الفتحات والخلوصات الرأسية لتأكد من صلاحيتها أو ضرورة تغييرها ، وكذلك عرض الشنبر ومراجعته مع تعليمات الصانع .

وتلاحظ النقاط التالية قبل تركيب حلقات المكبس :

أ- تنظيف المجارى تماماً ويجب أن يكون سطحها مستوى وناعم وعدل .

ب- يجب تنعيم أى خدش بالجلبة وتدوير أى حواف حادة سواء للمزايت أو البوابات .

ج- تجربة الشنبر من خارج المكبس فى مجراه والتأكد من وجود الخلوص الرأسى .

د- تجربة الشنبر فى داخل الاسطوانة ومراجعة خلوص الفتحة والتأكد من قيمته فى أقل قطر داخلى .

ه- نبدأ من الشنبر السفلى على أن تكون الفتحات على زاوية ١٨٠° وفى المحركات الثنائية يراعى ابعاد الفتحة عن فتحة بوابة الحر والعادم .

٢ ـ ٥ ـ ٨ ارتفاع درجة حرارة المكبس أثناء التشغيل :

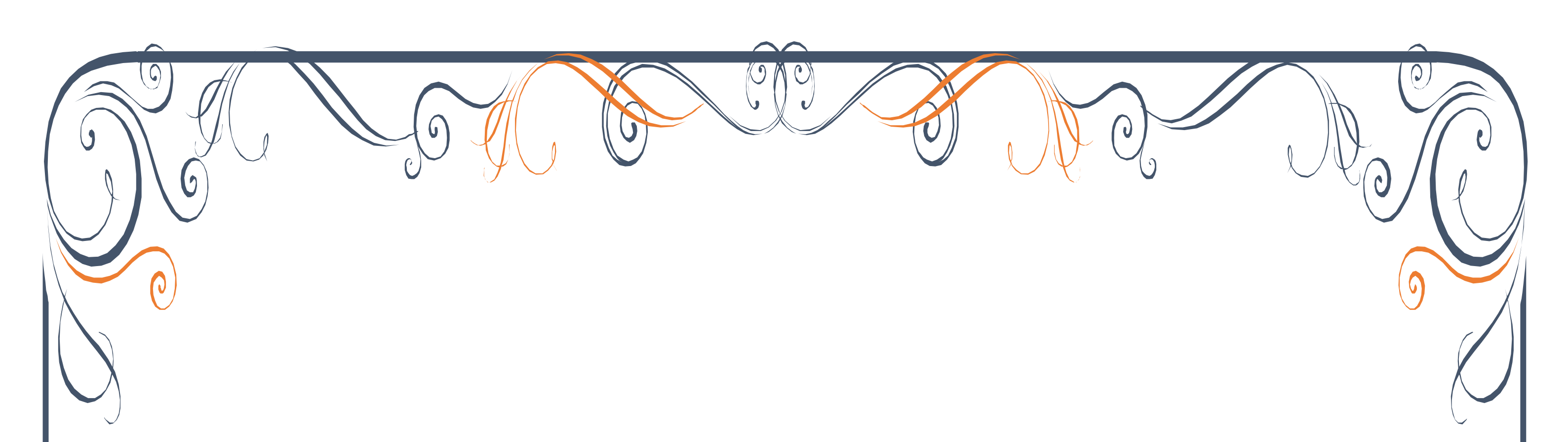
Overheating of piston

يستمر التشغيل السليم للمكبس طالما كان التبريد وزيت التزييت تماماً والمشكلة الوحيدة التى يتعرض لها هى تفويت الغازات بعد عدد ساعات التشغيل المحددة .

وقد ترتفع درجة حرارة مكبس أحدى الوحدات نتيجة سبب أو أكثر من الأسباب التالية :

أ- انقطاع أو نقص تبريد المكبس ، مما يسبب تمدده وتقليل الخلوصات وحرق طبقة الزيت .

ب- انقطاع او نقص كمية الزيت الواصلة للاسطوانة أو تسييل الرشاشات .



ج-عدم استقامة مجموعة المكبس مع رأس الانزلاق أو زيادة خلوصها مع الأدلة .

د- تكون طبقة عازلة (على السطح الداخلى للمكبس) تؤدى إلى عدم كفاءة التبريد .

ه- انقطاع أو ضياع مياة تبريد القميص فجأة .

و- تحميل زائد على الوحدة نظراً لعدم اتزان المحرك .

الدلائل التى تشير لذلك هى :

أ- سماع خبط عند نهايتى مشوار المكبس مصحوباً بنقص فى سرعة المحرك .

ب- ارتفاع درجة حرارة خارج تبريد المكبس .

ج- ارتفاع درجة حرارة خارج تبريد الاسطوانة .

د- ارتفاع درجة حرارة عادم الوحدة .

ه- ظهور دخان بالعادم .

وعليه يلزم إجراء الآتى فوراً :

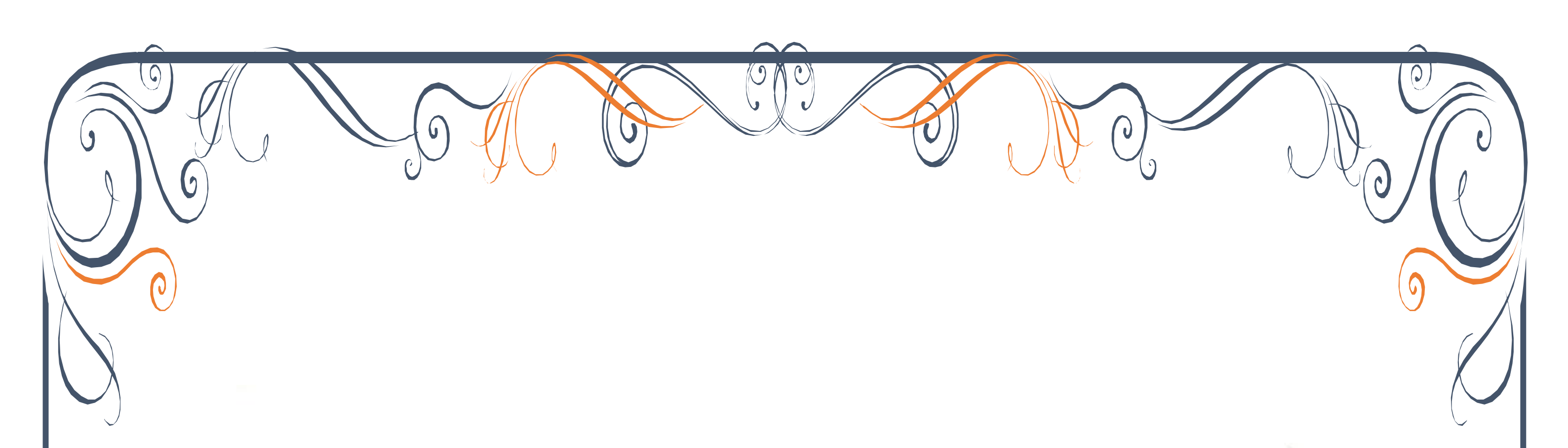
١ـ تقليل سرعة المحرك إلى البطيئة .

٢ ـ قفل الوقود عن الوحدة المعينة .

٣ ـ زيادة التبريد للمكبس والاسطوانه .

٤ ـ زيادة كمية زيت تزييت الاسطوانه .

وننصح بعدم إيقاف المحرك إلا إذا دلت القراءات على أن درجات الحرارة ما زالت فى الارتفاع ، وعليه يمكن ايقاف المحرك ، مع تعشيق ترس التقليب لإدارة المحرك ، وبعد ذلك يمكن إعادة تشغيل المحرك مع قطع الوقود عن هذه الوحدة ، وزيادة السرعة بالتدريج ، ثم التحميل عليها جزئياً لمدة ٢٤ ساعة ومراقبتها ، مع التأكد بعدم وجود تحميل زائد على الوحدات الأخرى وعدم وجود اهتزاز غير طبيعى بالمحرك . وفى أقرب فرصة يجب الكشف على هذه الوحدة وإصلاح العيب ، وإذا حدث تجريح فى القميص يجب تنعيمه وتعاد قياسات الأقطار للتأكد من عدم حدوث بيضاوى وملاحظة التبريد والتزيت .



٢ ــ ٥ ــ ٩ الأشكال المختلفة لغرف الاحتراق :

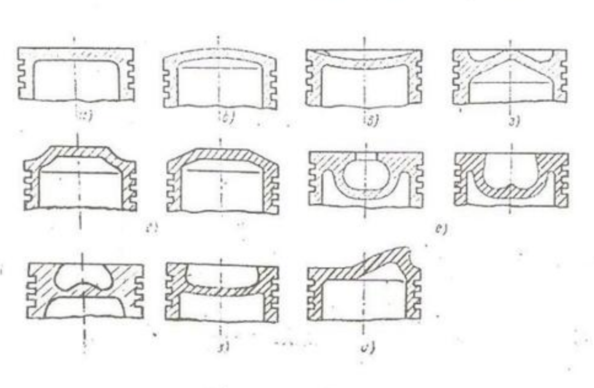
يشكل تـاج المكـبس Piston– crown مـع رأس الاسـطوانة غرفـة الاحتـراق Combustion chamber ولشـكل غرفة الاحتراق تأثير كبير على جودة اختلاط الوقود بالهواء وكفاءة الاحتراق .

ويوضح شكل (٢ ــ ٤٧ أ) أنواع مختلفة لتاج المكبس ، وتصنع فى معظم الأحيـان مقعرة أو محدبة للأسباب التالية :

أ- تسمح بحرية التمدد عند التسخين والانكماش عند التبريد .

ب- زيادة سطح التبريد لنفس غرفة الاحتراق .

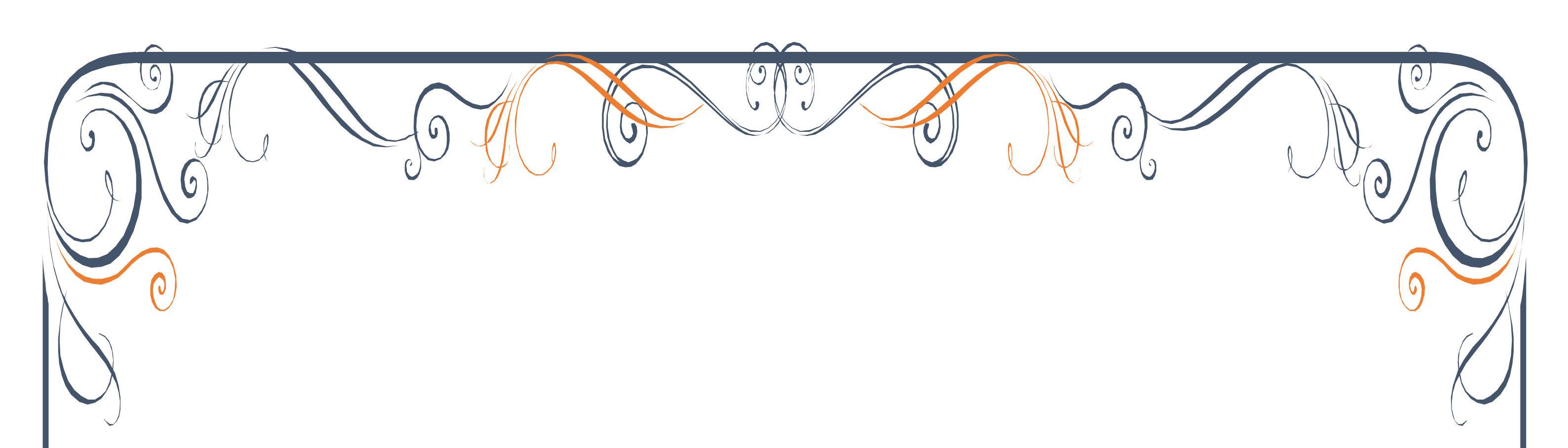
ج- تقاوم الأسطح المقعرة الاجهادات الناتجة عن احتراق الغازات أكثر مـن الأسطح المستوية بنفس تخانة المعدن .



شكل (٢ ــ ٤٧ أ)

ويعتبر السطح المسطح غير معيل نفسه بنفسه إذا وقع تحت تأثير ضغط الغازات أثناء التشغيل فيتخذ شكلاً مقعراً وبدرجات مختلفة تعتمد على الضغط المؤثر ودرجـة الحـرارة ونوع وتخانة المعدن ، وبتكرار ذلك كل حريق يجعل تاج المكبس خاضعاً تحت تاثير إجهاد الكلال .

أما إذا كان سطح التاج مقعراً أو محدباً فيعتبر تقريباً معيل نفسه بنفسه ولا يتغير الشكل

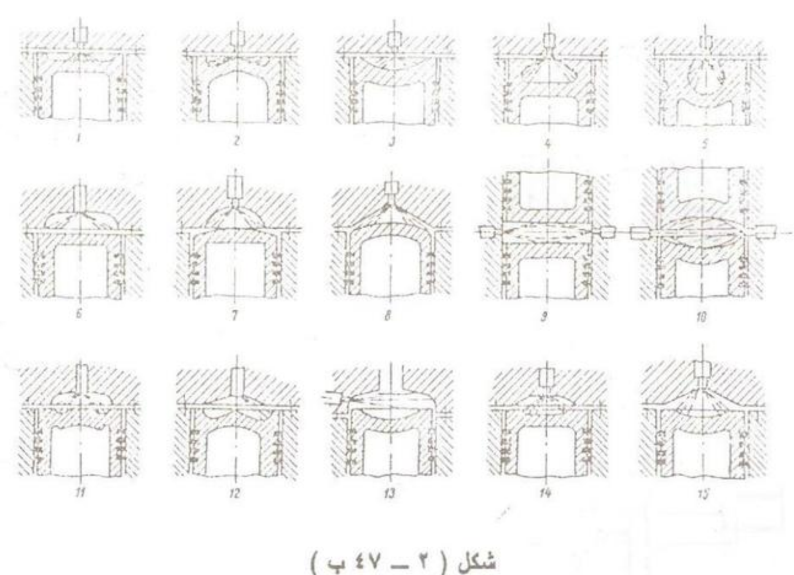


إلا قليلاً ، وعليه فإن خطورة الوقوع تحت تأثير إجهاد الكلال يقل حيث أن له حرية التمدد والانكماش .

أما شكل (٢ ــ ٤٧ ب) فيوضح تصميمات مختلفة لغرف الاحتراق ذات الحقن المباشر Direct injection، ويجب أن يتوافر فى غرف الاحتراق الشرطين التاليين :

أ- إعداد جيد لخليط الوقود مع الهواء : أى توزيع متساوى لذرات الوقود فى حيز غرفة الاحتراق .

ب- الحصول على احتراق ناعم Smooth combustion ويتأتى ذلك بأن تكـون درجة الحرارة كافية لحدوث الاشتعال ، وأن معدل ارتفاع الضغط فى المرحلـة الثانية للاحتراق يكون متوسطاً .

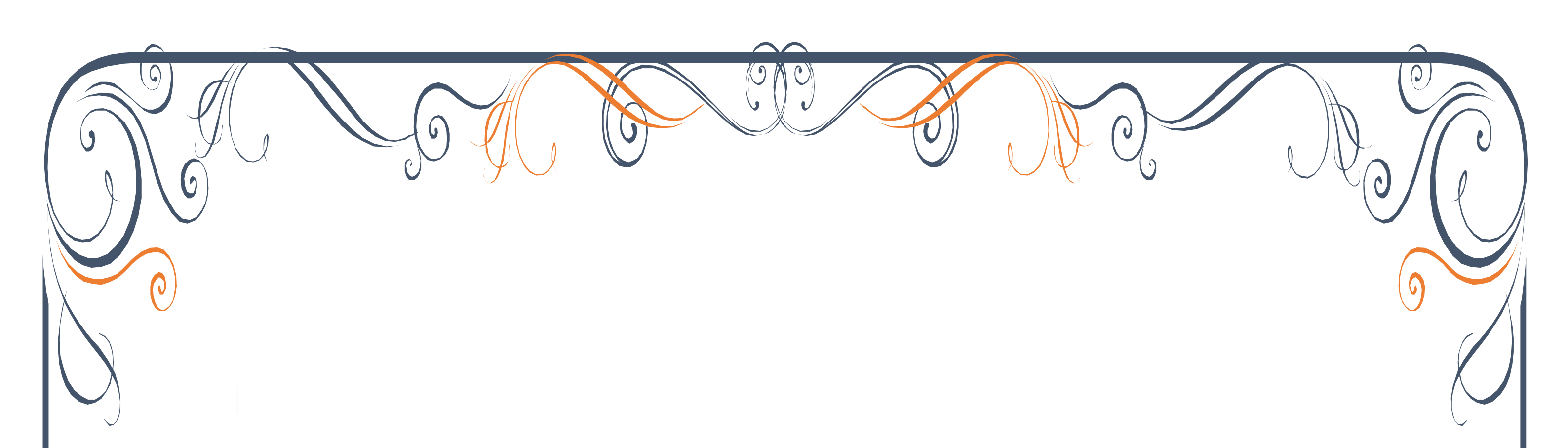


شكل (٢ ــ ٤٧ ب)

<u>ويمكن تقسيم غرف الاحتراق فى الشكل (٢ ــ ٤٧) إلى أربعة مجاميع :</u>

ــ المجموعة الأولى : من (١ ــ ٥) وتتواجد فى المكبس .

ــ المجموعة الثانية من (٦ ــ ٨) وتتواجد فى رأس الاسطوانة .



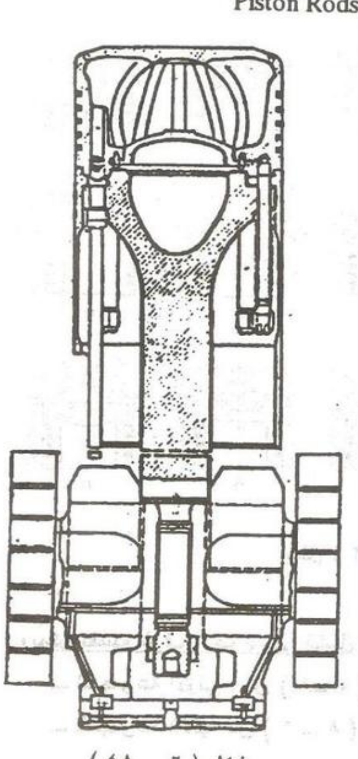
ـ المجموعة الثالثة من (٩ ـ ١٠) وتتواجد بين المكبسين .
ـ المجموعة الرابعة من (١١ ـ ١٥) وتتواجد بين المكبس ورأس الأسطوانة .

وتتخذ المجموعة الأولى عادة فى المحركات الرباعية الأشواط والثنائية الأشواط ذات الكسح الطولى ، ويفضل الشكل الثانى وذلك لأن غرفة الاحتراق تتخذ نفس شكل مخروط رذاذ الوقود ، وهذا يؤدى إلى أعلى درجات الإثارة .

أما الشكل السادس والسابع والثامن فهى مستخدمة فى المحركات ثنائية الأشواط،أما رقم ١٣ فهو المستخدم فى المحرك الثنائى الأشواط ماركة B&W ، أما رقم ٩ ، ١٠ فهى المستخدمة فى المحركات ذات المكابس المتضادة .

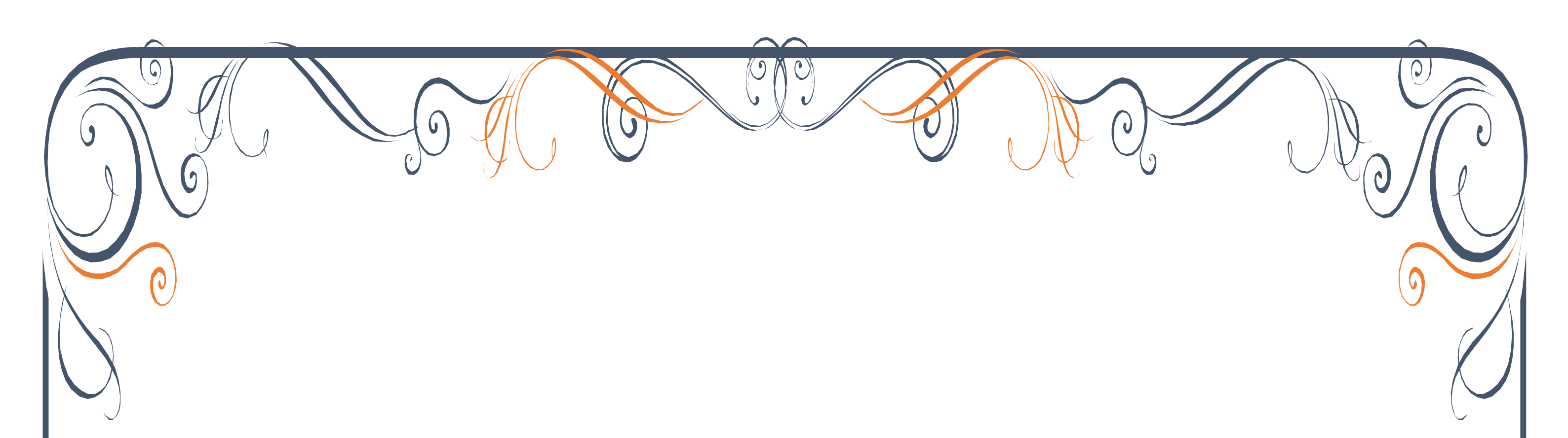
(٢-٦) أعمدة المكابس Piston Rods

شكل (٢ ـ ٤٨) يوضح مجموعة عمود المكبس ورأس الانزلاق لمحرك سولزر RND وهو مصنع من الصلب المطروق. يثبت مع تاج المكبس والجذع بمسامير رباط وصواميل خاصة لتحسين المرونة ويصل عددها إلى عشرة ، يقل القطر السفلى للعمود ليمر ببنز رأس الانزلاق ويثبت بصامولة من أسفل .



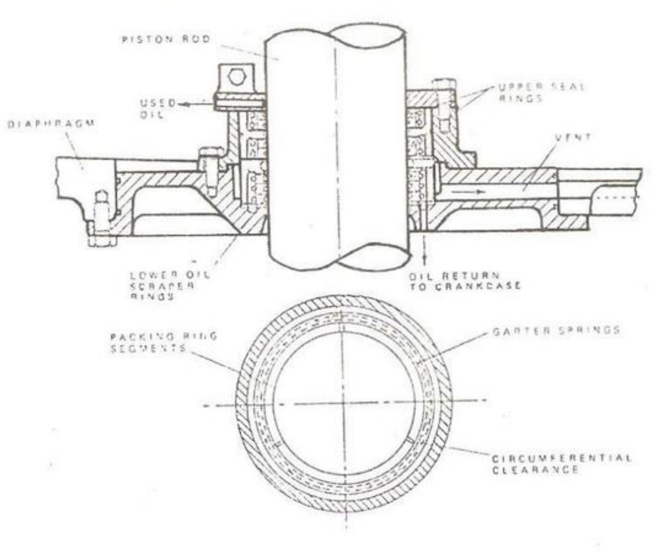
شكل (٢ ـ ٤٨)

وغالباً ما تزود هذه المحركات بفاصل بين حيز الاسطوانة وحيز صندوق المرفق ، ولذا يلزم لعمود المكبس المرور منه ، وعليه يوجد سدادة حاكمةGland شكل (٢ ـ ٤٩)، وتتكون عادة من ثلاث مجموعات ، كل مجموعة تحتوى على حلقتين أو ثلاث وكل حلقة تحتوى على ثلاث قطع من الحشو المعدنى وتثبت فى مكانها بواسطة يايات ،



ويوجد خلوص جانبى بين كل قطعة والأخرى وتقوم المجموعتان العلويتان باحكـام حيـز الكسح وكشط أى زيوت أو رواسب كربونية على العمود عند نزوله إلى أسفل وهذا الزيت يوجه إلى صهريج الزيت القذر Dirty tank .

وتقوم المجموعة السفلى بكشط الزيت من العمود عند صعوده لأعلى ويوجه عن طريق ثقب خاص إلى صندوق المرفق ، ويوجد بين المجموعتين مصفى أو هواية للتأكد من كفاءة الأحكام .



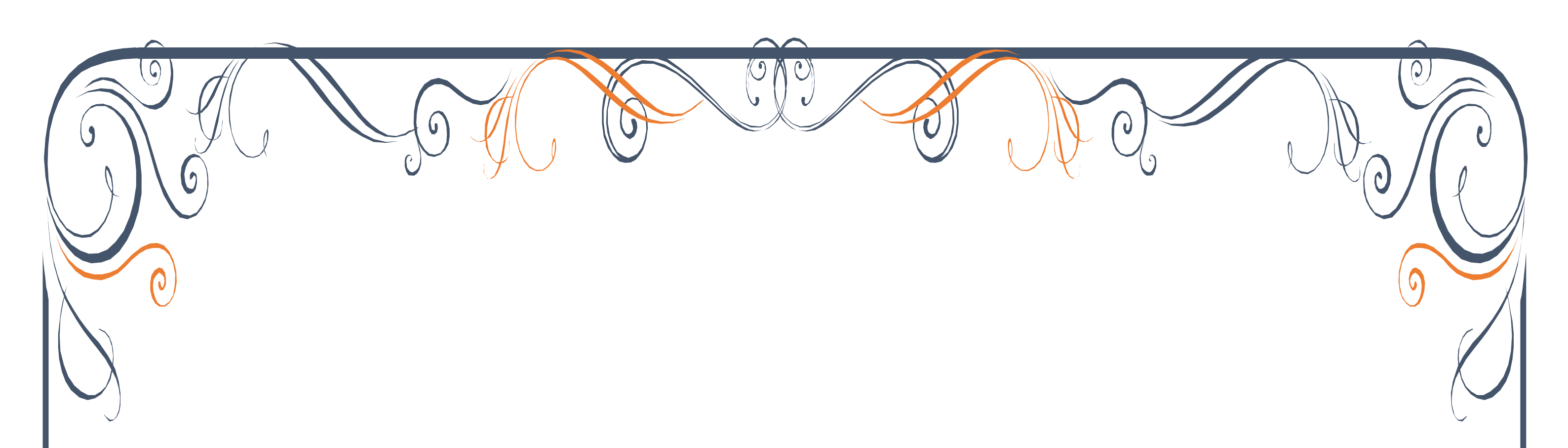
Piston rod gland

شكل (٢ ــ ٤٩)

أما الصيانة التى تتطلبها هذه السدادة هو جعلهـا حاكمـة باسـتمرار وذلـك بضـبط الخلوصات وصلاحية اليايات ، هذا علاوة على تسليك المصافى باستمرار .

عدم صيانة السدادة يسبب ضياع هواء الكسح ، وتلوث حيز الكسح بالزيـت وتفويـت الغازات من حيز الاسطوانة إلى صندوق المرفق وارتفاع درجة حرارة عمـود المكـبس ، وتصبح سبب لحدوث انفجار فى صندوق المرفق (النقطة الساخنة) .

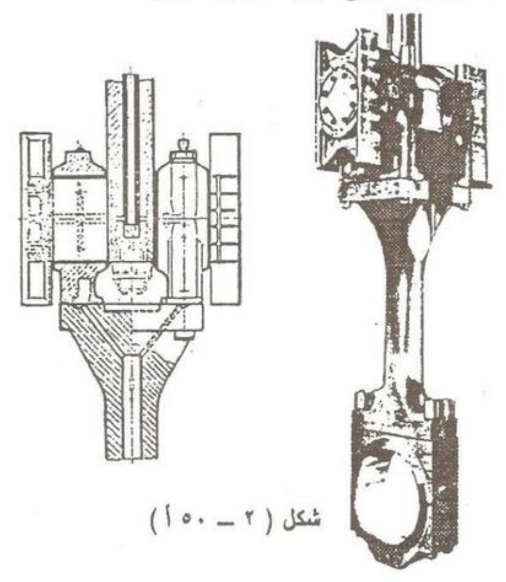
وليكن معلوماً أنه يوجد فى معظم المحركات الثنائية الكبيرة المزودة بـرأس الانـزاق فاصل بين حيز الاسطوانة وحيز صندوق المرفق . وله فوائد عديدة مثل عدم تلوث زيـت



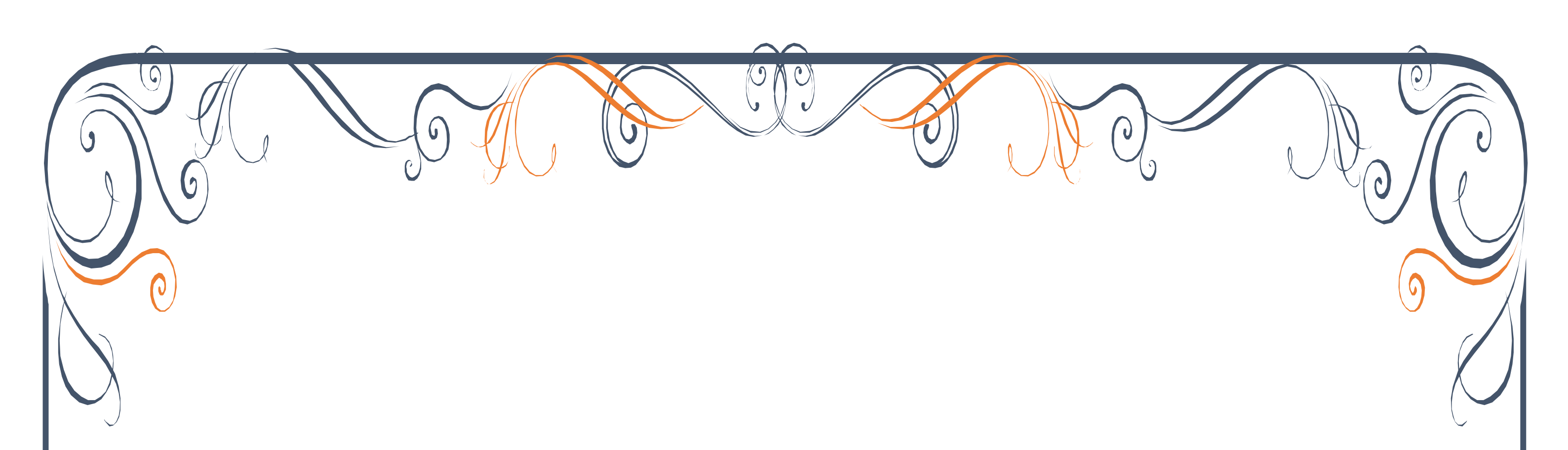
صندوق المرفق بنواتج الاحتراق التى تسبب تآكل الكراسى وخاصة فى حالة تشغيل المحرك بالوقود الثقيل وإمكانية استخدام زيت تزييت للاسطوانة مخالفاً لزيت تزييت الكراسى الرئيسية لصندوق المرفق ، والاستفادة بضغط إضافى لهواء الكسح عن طريق أسفل المكبس كمساعد للشاحن التوربينى ، كما يستخدم كسند للمواسير التلسكوبية .

(٢ ـ ٧) رؤوس الانزلاق Cross – head

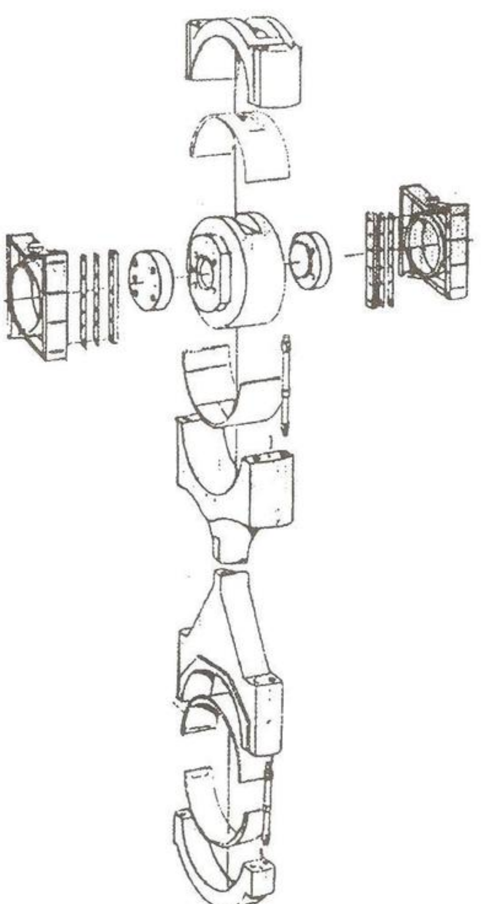
شكل (٢ ـ ٥٠ أ) لكتلة الوصل أو الرأس المنزلق وهى عبارة عن بنز مصنع من الصلب المطروق ، وبه ثقب فى المنتصف يثبت فيه أسفل عمود المكبس ذو القطر الأقل ، ويتم التثبيت بصامولة من أسفل . ويحمل هذا البنز على النهاية العلوية لذراع التوصيل على شكل حرف U وفى نهايتى البنز يتم تركيب مصبوبتين من الزهر تحتوى على المنزلقات Slippers ، ولها حرية التأرجح على البنز ، وأسطح المنزلقات مغطاة بالمعدن الأبيض وبهما مجارى التزييت ، وتنزلق على الأدلة الرأسية Guides والمثبتة على الهيكل لضمان الاستقامة للرأس المنزلق طوال مشوار المكبس .



شكل (٢ ـ ٥٠ أ)

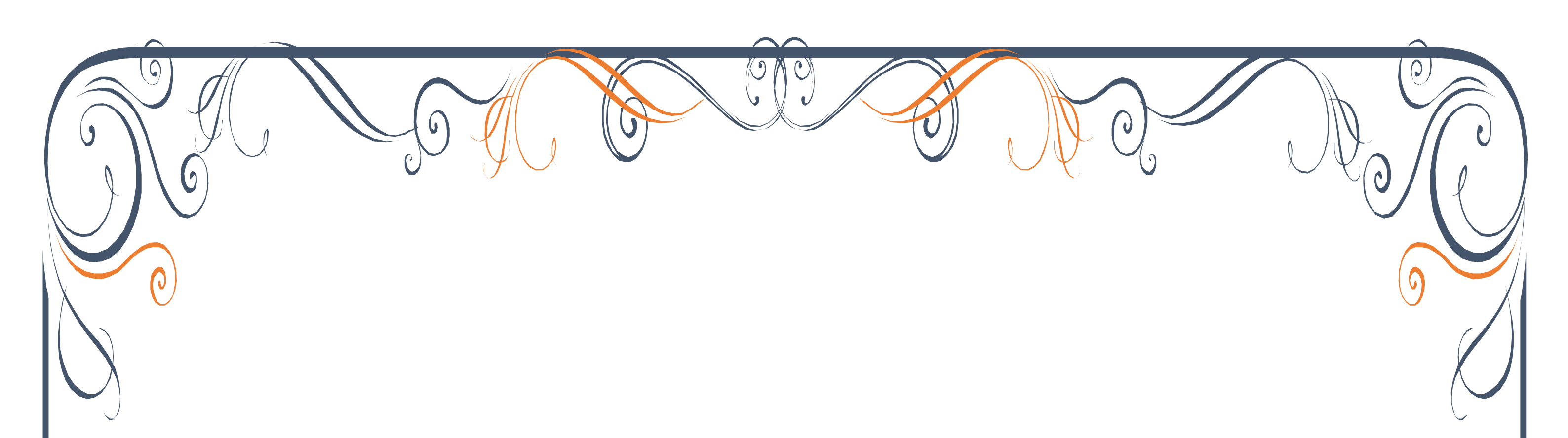


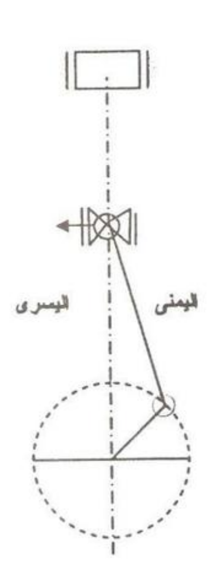
ونظراً للصعوبات التى تقابلها محامل النهايات العليا لأنرع التوصيل فى هذا التصميم ، تم الاتجاه إلى تصميم آخر يسمح للبنز بالجلوس على كرسى مستمر فيزيد من سطح التحميل ، ويمنع حدوث انحناء البنز . ويتضح ذلك فى الشكل (٢ ــ ٥٠ ب) . ولتثبيت عمود المكبس مع البنز ، فيزود بفلانج يتم تثبيته على السطح المستوى للبنز بواسطة أربعة مسامير .



Two-stroke connecting rod showing crosshead, top and bottom end bearings, and guideshoes. (MAN--B&W)

شكل (٢ ــ ٥٠ ب)





خلوص الرأس المنزلق : Cross-head clearance

شكل (٢ ــ ٥٠ جـ) يوضح بنز النهاية الكبرى لعمود المرفق فى الجهة اليمنى ، وعندما يتخذ الوضع الأفقى ، تكون المنزلقات مستندة تماماً على دليل الجهة اليسرى ، حيث يتم قياس الخلوص من الجهة اليمنى ، بواسطة فيلر طويل من أعلى وأسفل المنزلق ، وتؤخذ متوسط القراءتين ولنفرض أنه ٠,٣٥ مم .

الوضع الآخر هو عكس الوضع السابق ويتم قياس الخلوص من الجهة اليسرى بنفس الطريقة ويؤخذ متوسط القراءتين ولنفرض أنه ٠,٢٥ مم .

شكل (٢ ــ ٥٠ جـ)

بعد ذلك يتم جمع القيمتين ، ويؤخذ متوسطهما ويجب الا يتعدى قيمة هذا الخلوص ٠,٧ مم ، وإلا تعرضت مجموعة المكبس لعدم الاستقامة والاهتزازات،ممايؤثر على جلند العمود والبرى الغير متساوى بمحامل النهايات العلوية لذراع التوصيل والخبط وتعرض الأجزاء لاجهاد الكلال .

وتصمم رؤوس الانزلاق بنوعين : شكل (٢ ــ ٥١)

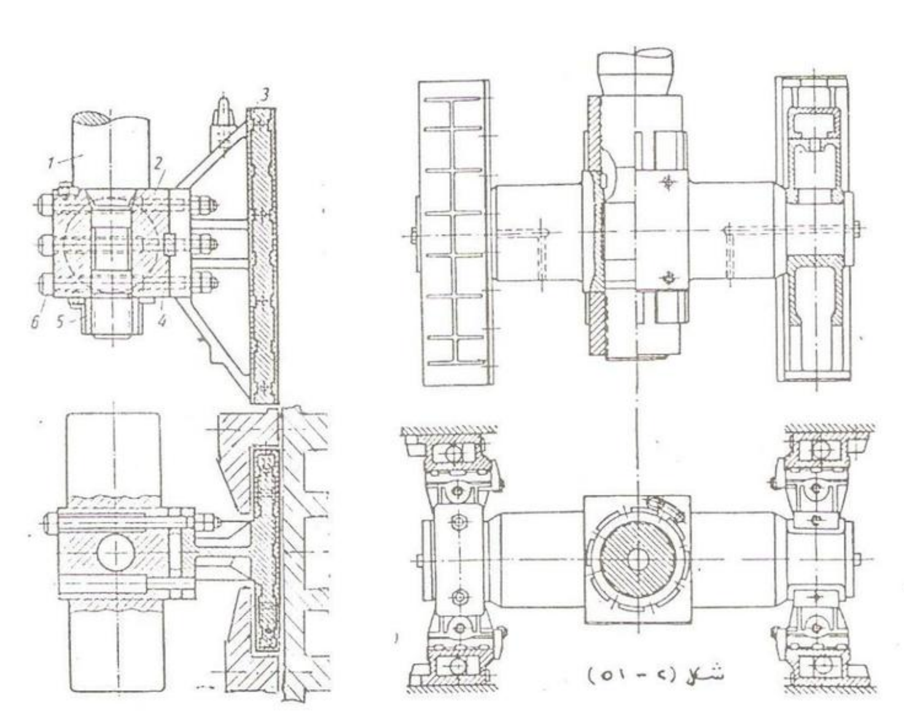
أ ــ ذات الحذاء الواحد One slipper ويعمل بوجهين .

ب ــ ذات الحذائين Two slipers ويعمل كل من وجه واحد .

وينزلق الحذاء على الدليل Guide المثبت على الهيكل A- frame .

ويتميز النوع الأول بخفة الوزن وتنقل القوة الجانبية المتولدة أثناء الشوط الفعال عند السير للأمام بواسطة السطح العريض للحذاء المغطى بالمعدن الأبيض ، أما فى حالة السير للخلف فتنقل هذه القوة بواسطة السطح الضيق .





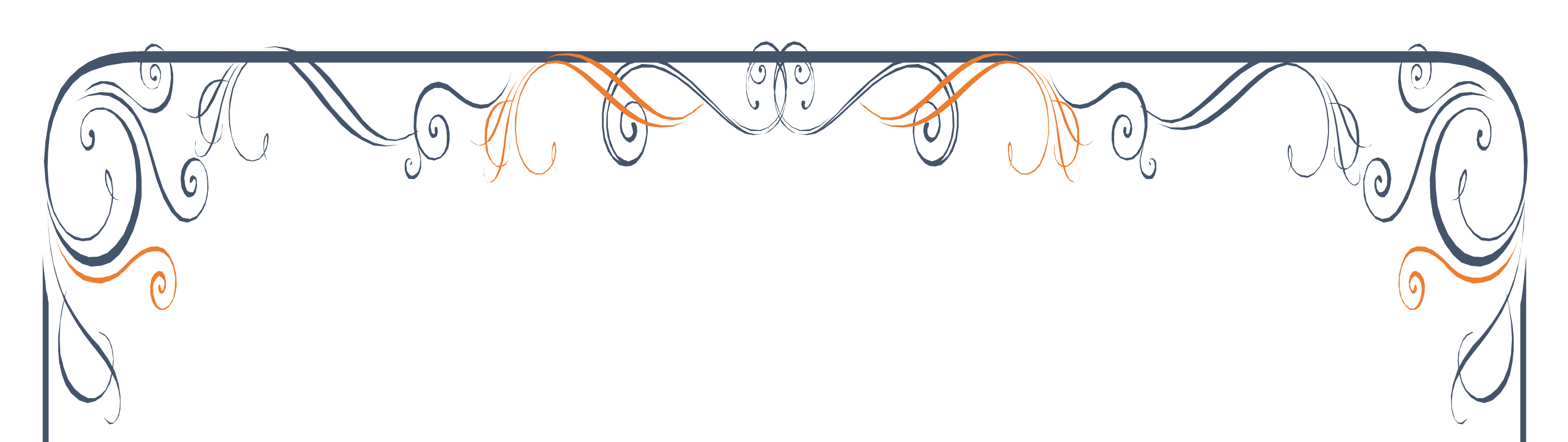
شكل (٢ – ٥١)

(٢ – ٨) أذرع التوصيل Connection rod

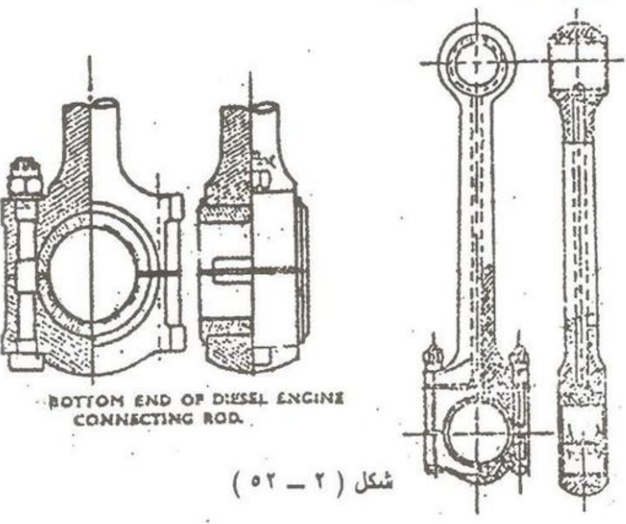
يقوم ذراع التوصيل بنقل القوة المؤثرة على المكبس إلى عمود المرفق ، ويحول الحركة الترددية للمكبس إلى حركة دورانية لعمود المرفق .

ويجب أن تكون أذرع التوصيل على درجة كافية من المتانة ، كما يجب أن تكون خفيفة فى نفس الوقت حتى لا تزداد قوة القصور الذاتى وخاصة فى حالة المحركات السريعة الدوران ، فيصنع من سبائك الصلب المطروق ويضاف أحياناً النيكل أو الفاناديوم لتحسين الخواص الميكانيكية . وعند التصميم يجب أن يجمع ذراع التوصيل بين المتانة والصلابة وقلة الوزن ، علاوة على كفاءة تشغيل النهاية الكبرى والنهاية الصغرى .

ويكون المقطع على شكل دائرة فى حالة المحركات البطيئة السرعة ، و يكون على شكل شكل حرف I فى حالة المحركات السريعة والمتوسطة السرعة ليحقق أكبر متانة بالنسبة إلى وزنه .



ويختلف شكل ذراع التوصيل طبقاً لنوع المحرك ، فالشكل (٢ ــ ٥٢) لمحرك رباعى ذات سرعة عالية ، وتشكل النهاية الصغرى والساعد من قطعة واحدة يثبت فيها لقمة إمــا قطعةواحدة أو قطعتين وبها مجرى الزيت ، أما النهاية الكبرى فدائماً ما تصنع من نصفين ، وذلك لسهولة الفك والتركيب ، ويجب ألا تكون ذات حجم كبير حتى تسمح باخراج المكبس مع ذراع التوصيل من خلال الاسطوانة .

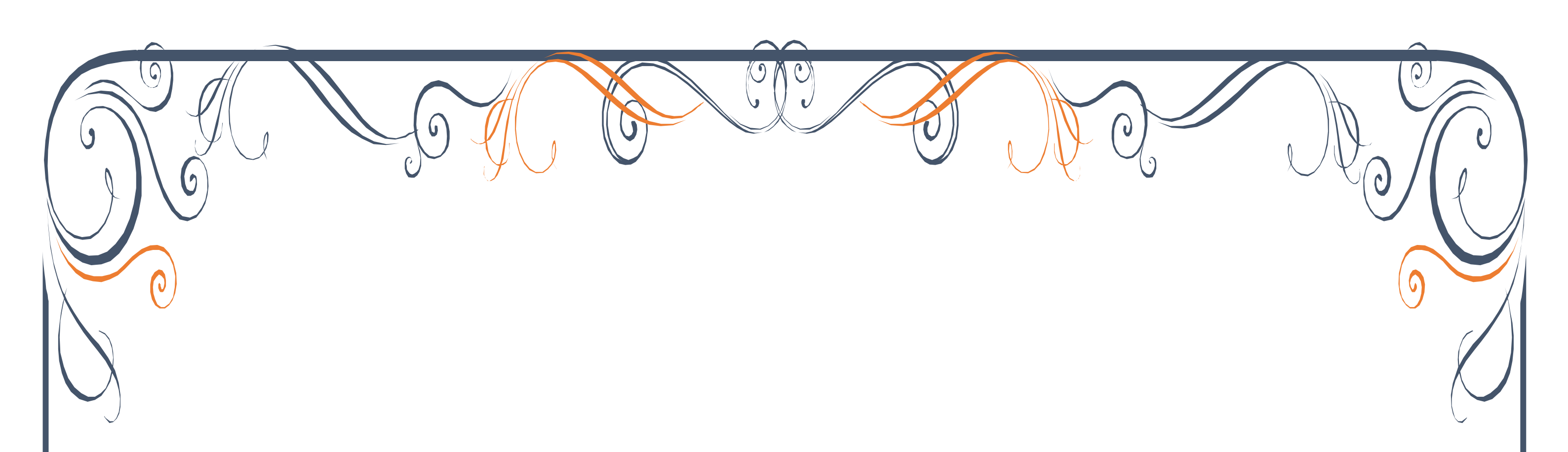


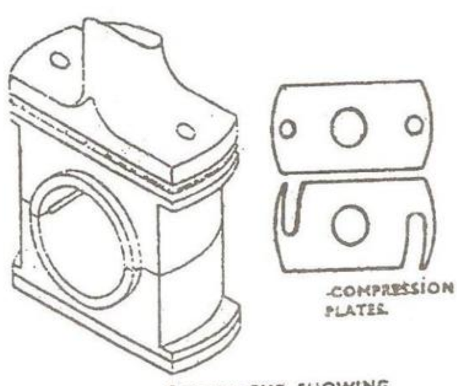
شكل (٢ ــ ٥٢)

وفى المحركات الكبيرة تكون النهاية الكبرى جزء منفصل شكل (٢ ــ ٥٣) ويثبت مع الساعد بمسامير فى قاعدة خاصة بأسفل الذراع ، ويمكن حينئذ بواســطة وضــع رقــائق مختلفة السمك بين القاعدة والنهاية الكبرى تنظيم وضبط إنضغاط الاسطوانة .

<u>كراسى النهايات الكبرى :</u>

عبارة عن لقم من الصلب مبطنة بالمعدن الأبيض فى حالة المحركات ثنائية الأشــواط ، ولكن الحالة تختلف فى حالة المحركات رباعية الأشواط متوسطة السرعة والسريعة ، حيث تكون مبطنة بالســبيكة الحمراء (نحاس ورصاص ــ برونــز ورصــاص أو ألمونيــوم وقصدير) وتغطى بطبقة من القصدير .





شكل (٢ ــ ٥٣)

وتتبع عادة طرق مختلفة تستهدف جعل النهاية الكبرى لذراع التوصيل أصغر ما يمكن مع الاحتفاظ بمساحة تحميل كافية للأحمال المطلوبة ، وهذه الطرق هى :

أ ــ استعمال أربعة مسامير لربط ذراع التوصيل وذات أقطار أصغر بدلاً من استعمال مسمارين ذات قطرين كبيرين .

ب ــ تقسيم النهاية الكبرى بمستوى مائل .

وقد تعرضت بعض أنرع التوصيل للانبعاج Buckling نتيجة :

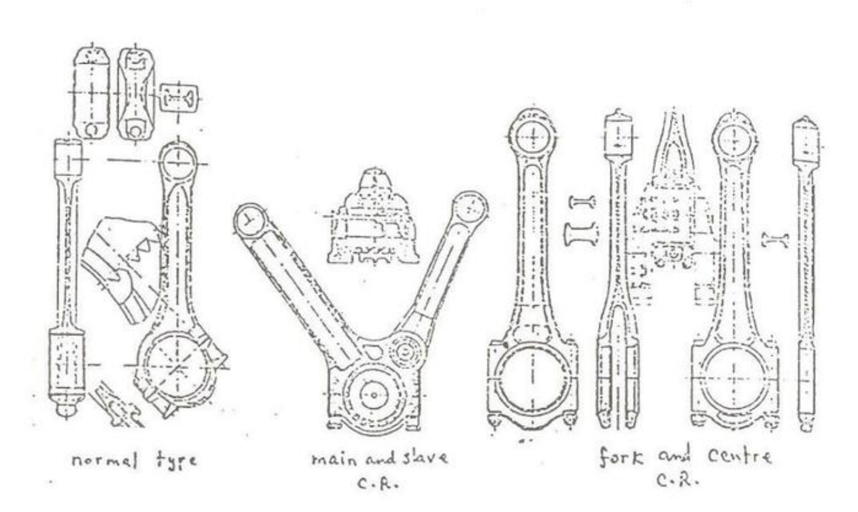
ــ تقليب المحرك مع وجود مياة فوق المكبس .

ــ دوران المحرك مع قفش المكبس أثناء شوط الانضغاط .

ــ دوران المحرك مع وجود قفش فى إحدى المحامل .

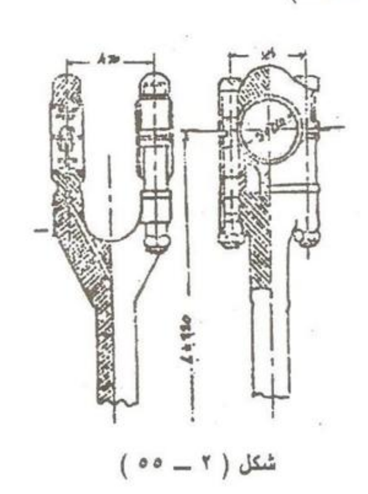
وفى المحركات التى على شكل حرف (V) تتخذ أنرع التوصيل أشكال مختلفة كما يتضح من الشكل (٢ ــ ٥٤) وتثبت على عمود المرفق بالثلاث الطرق المختلفة المبينة بالشكل .



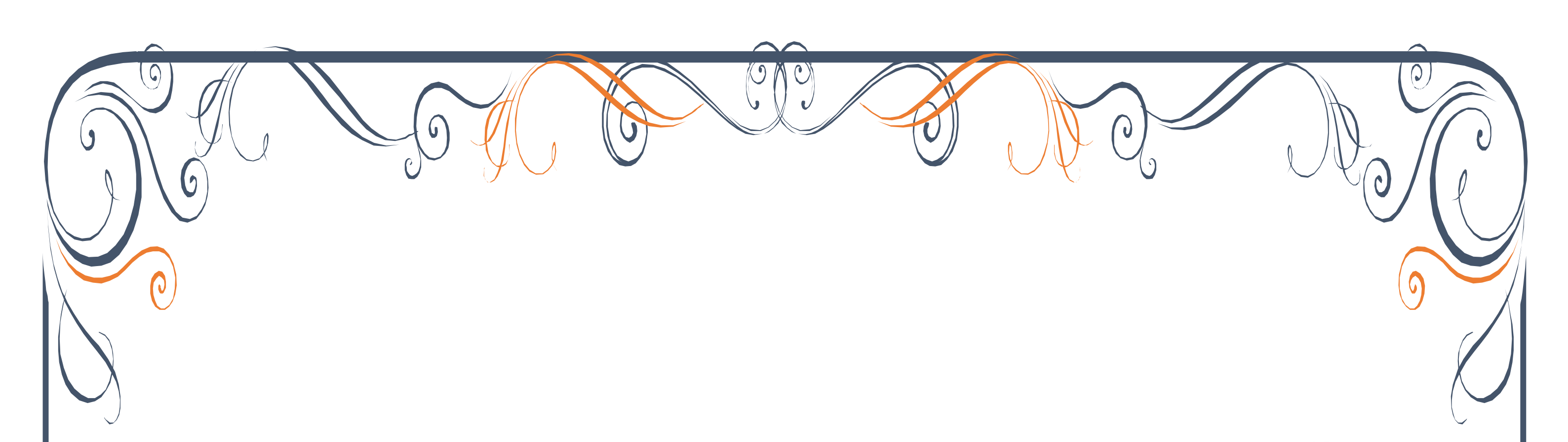


شكل (٢ ــ ٥٤)

أما فــى حالــة المحركــات الكبيرة ذات رؤوس الانــزلاق ، فإن النهاية العليا لذراع الترصيل تتخذ شكل حرف (U) كما فى شكل (٢ ــ ٥٥)



شكل (٢ ــ ٥٥)



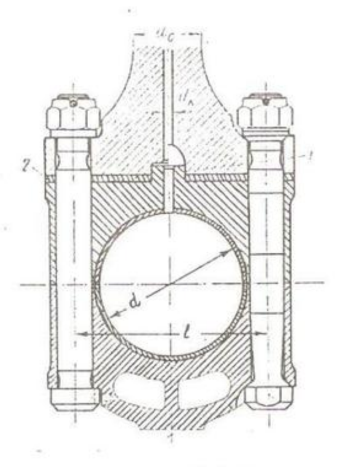
٢ ــ ٨ ــ ١ مسامير ذراع التوصيل Big – end bearing

شكل (٢ ــ ٥٦) يوضح هذه المسامير فى اماكنها بالنهاية الكبرى لذراع التوصيل ، وتتعرض هذه المسامير لاجهادات عالية نتيجة الأحمال المختلفة الواقعة عليها وهى :

أ ــ أحمال ساكنة : Static-load وهــى نتيجة الرباط .

ب ــ أحمال متغيرة : Dynamic-load وهى نتيجة القوة الطاردة المركزية التى تظهر عند الدوران،وكذلك قوة الشد نتيجة قوة القصــور الــذاتى للأجزاء المتحركة ترددياً .

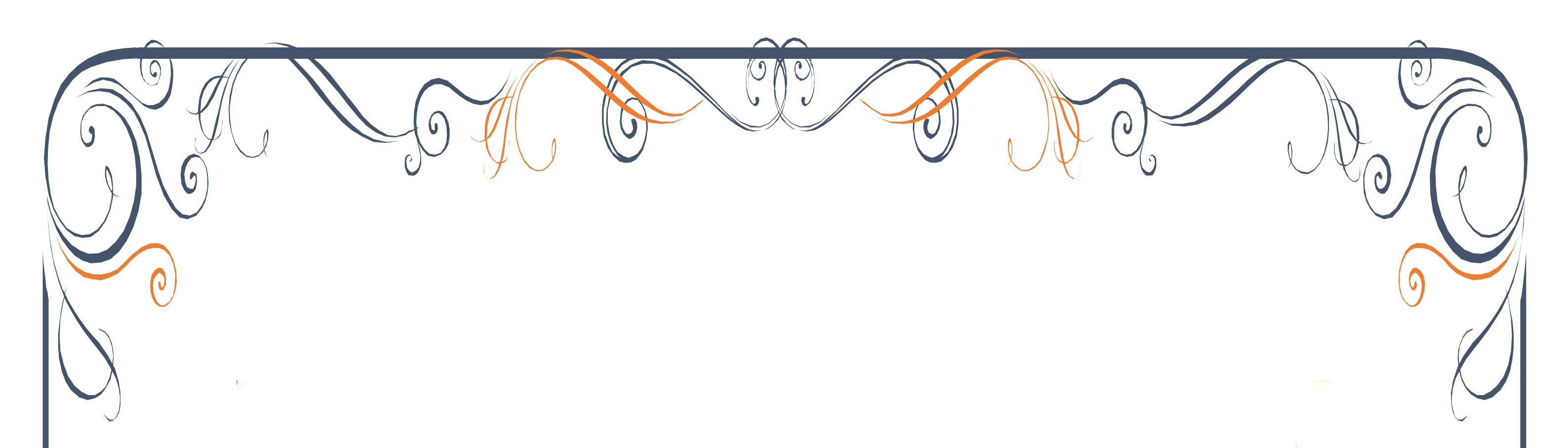
جـ ــ إجهاد قصى Sheer فى حالــة ترحيل نصفى الكرسى عند ظهور نبذبات لىّ على عمود المرفق .



شكل (٢ ــ ٥٦)

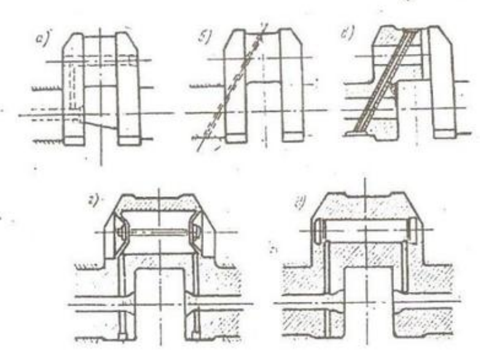
هذا بالإضافة إلى ظهور أماكن يتركز فيها الاجهــاد ،مثل عند تغيير القطــر . وعنــد الفحص يجب عدم تشغيل هذه المسامير عند ظهور أى اســـتطالة أو خدش ولو ســطحى، ويحدث ذلك نتيجة زيادة الرباط أو مدة التشغيل الطويلة أو رداءة التصميم . وينهار هــذا المسمار نتيجة اجهاد الكلال الذى قد يبدأ من شرخ ولو سطحى ، ويجــب تغييرهــا عنــد تجاوزها عدد ساعات التشغيل (العمر الافتراضى) .

وعليه فتصنع هذه المسامير من سبائك الصلب المعالج حرارياً لتكون على درجة كبيرة من المتانة كما أن أسنان القلاووظ الخاصة بها تكون دقيقة ومتقاربــة لــنفس الغــرض ، ويجب أن تكون كذلك على درجة كبيرة من نعومة السطح . ويتطلب رباط هذه المســامير عناية فائقة باستخدام مفتاح عزم ، ولا يزيد الرباط ولا يقل عن ما يوصى به الصانع .



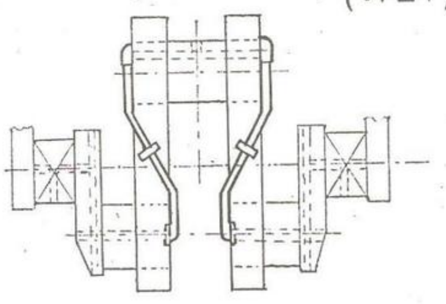
(٢ ـ ٩) نظم التزييت Lubrication systems

يجب أن يراعى فى نظم تزييت الكراسى Bearings ورؤوس الانزلاق Cross-heads البساطة والكفاءة ، فمثلاً لتزييت كراسى النهايات الكبرى لأنرع التوصيل Bottom-end bearings توجد طرق مختلفة ، ولكن الغرض هو اختيار النظام الذى يعتمد عليه ، وبدون تعقيد وبأقل تكلفة . بعد توصيل الزيت إلى الكراسى الرئيسية لعمود المرفق عن طريق ماسورة بطول المحرك ، يمكن تزييت محامل النهايات الكبرى بعمل ثقوب فى فخذ عمود المرفق (٢ ـ ٥٧) .



شكل (٢ ـ ٥٧)

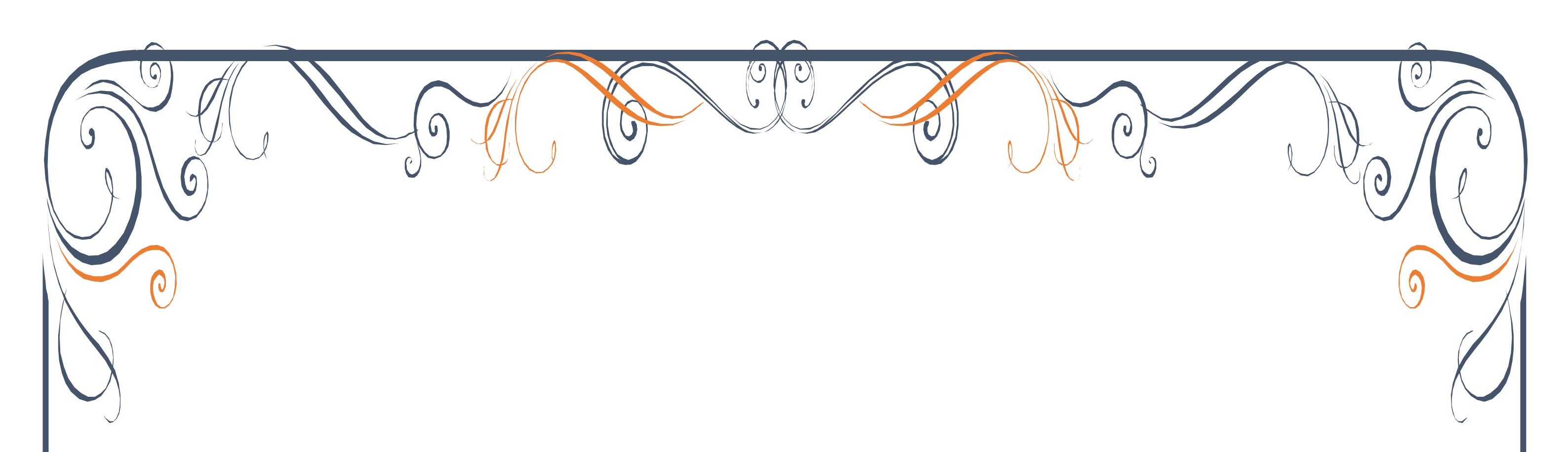
هذه الطريقة بسيطة ومرضية للمحركات الصغيرة ولكن لا يمكن تطبيقها فى المحركات الكبيرة ، حيث أنه غير مصرح بعمل ثقوب فى أعمدة المرفق المصنعة جزئياً لمسائل تتعلق بالاجهادات ، وقد أمكن استبدال الثقوب بمواسير كما فى شكل (٢ ـ ٥٨) وذلك فى المحرك " دوكسفورد "



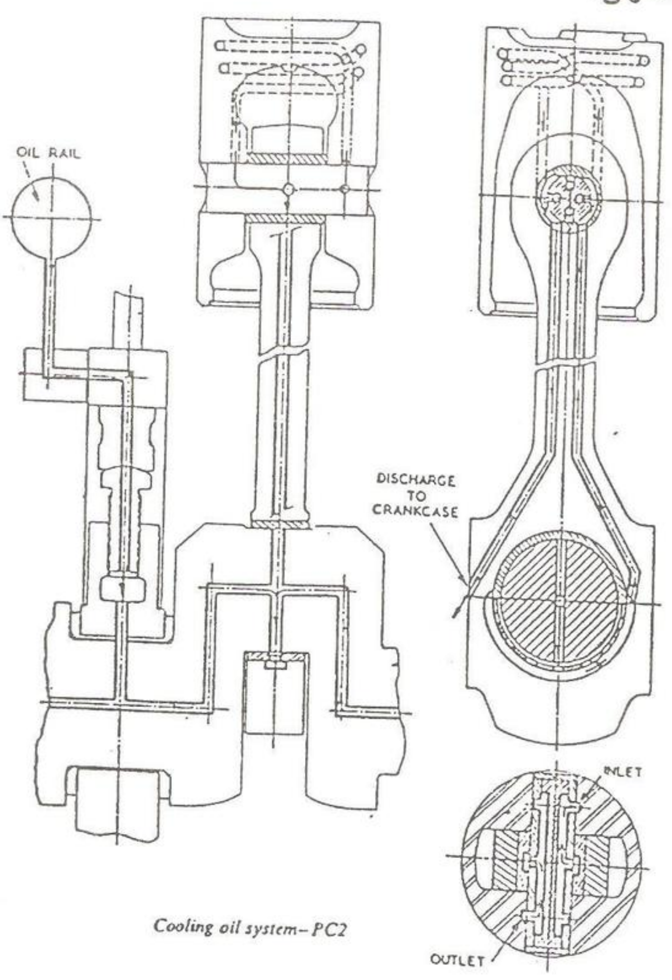
Doxford crankshaft unit showing oil pipes and passages

شكل (٢ ـ ٥٨)

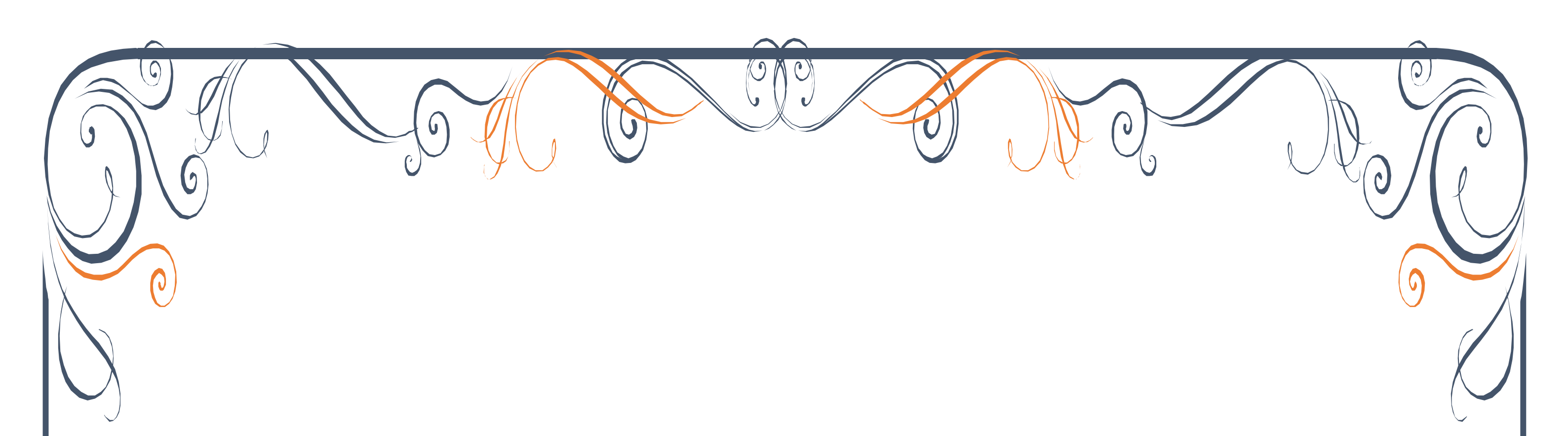




وفى بعض المحركات المتوسطة السرعة وذات القدرات العالية ، يستلزم تبريد المكابس وعادة يستخدم زيت التزييت فى التبريد أيضاً ، و شكل (٢ ــ ٥٩) يوضح لنا مسار زيت التزييت والتبريد ، حيث يوجه الزيت عن طريق ذراع التوصيل إلى ممــرات حــول بنــز المكبس ومنها إلى الثقب الحلزونى فى المكبس ثم يعود ثانية إلى ثقب ذراع التوصيل ومنه إلى صندوق المرفق .



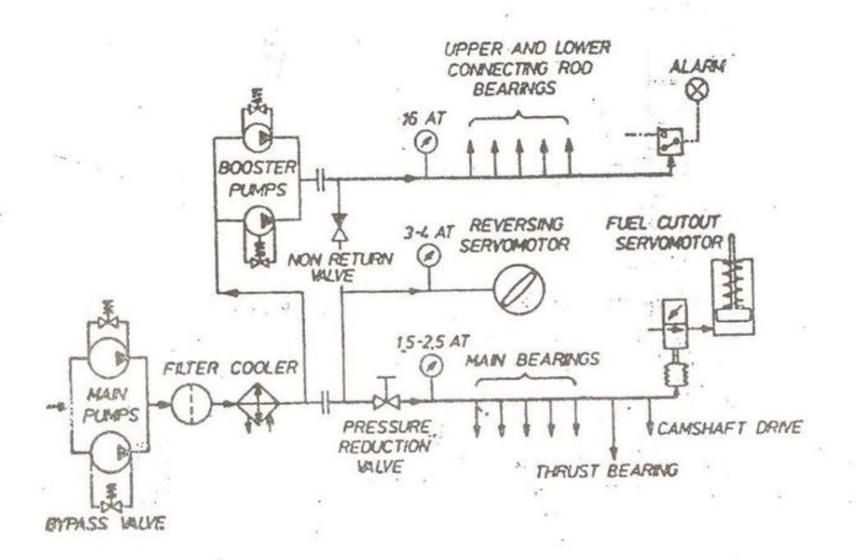
شكل (٢ ــ ٥٩)



وهناك طرق أخرى لتزييت النهايات الكبرى لأنرع التوصيل فى حالة لمحركات الكبيرة التى تعمل بروؤس الانزلاق شكل (٢ ــ ٦٠) وهى كالآتى :

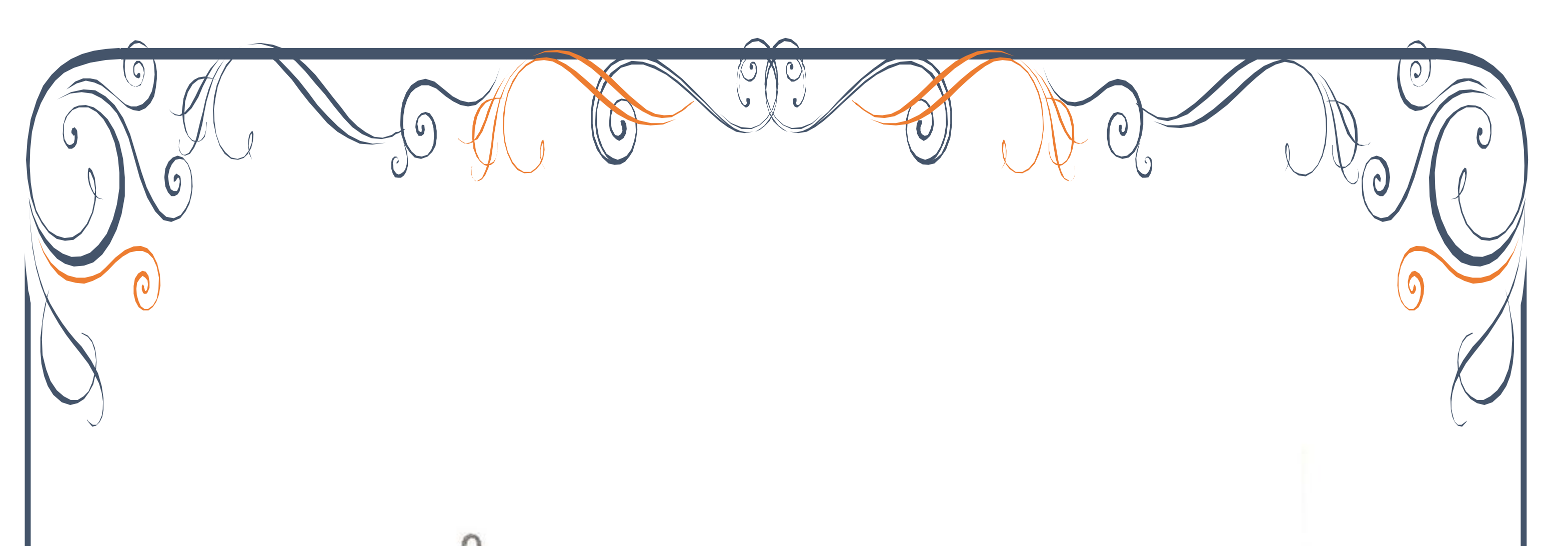
أ ــ يتم تزييت الكراسى الرئيسية Main bearing بمنظومة خاصة تسمى منظومة الضغط المنخفض حوالى ٢ بار Low-pressure system .

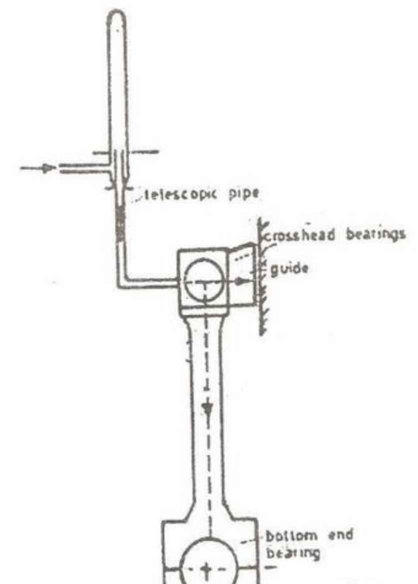
ب ــ توجد منظومة أخرى ذات ضغط مرتفع (من ١٢ : ١٦ بار) High-pressure system ومنها يتم تزييت بنوز رؤوس الانزلاق وأدلتها ومحامل النهايات الكبرى لأذرع التوصيل ، كما يتم أيضاً تبريد المكابس (فى حالة استخدام الزيت لتبريد المكبس) .



Crossedhead Lubrication of RND M Engine.

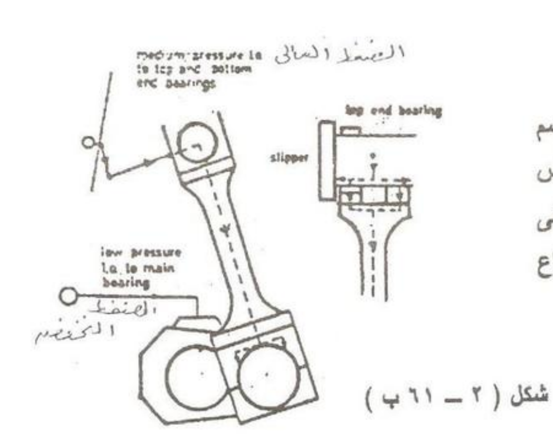
شكل (٢ ــ ٦٠) منظومة التزييت فى المحركات الكبيرة





وشـــكل (٢ ــ ٦١ أ) رســـم تخطيطى يوضح كيفيـــة تزييـــت رأس الانزلاق والنهاية العليا والسفلى لذراع التوصيل باستخدام الماسورة التلسكوبية .

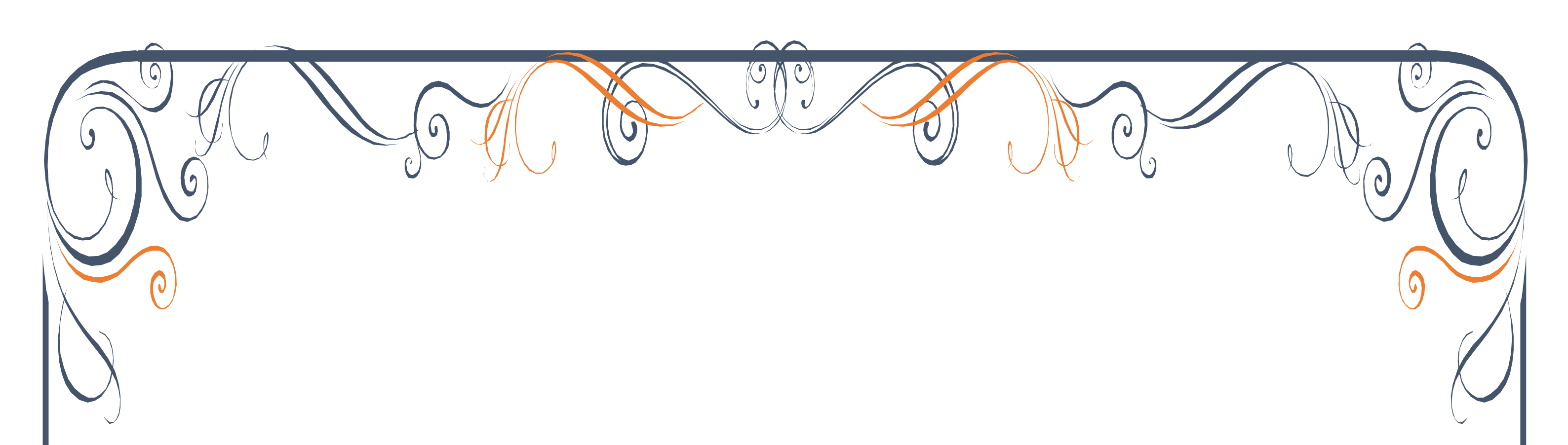
شكل (٢ ــ ٦١ أ)



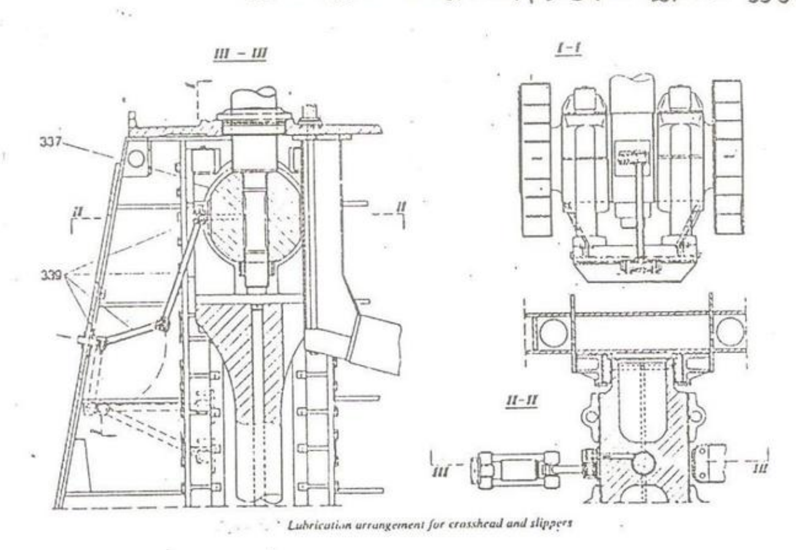
وشكل (٢ ــ ٦١ ب) رسم تخطيطى يوضح كيفية تزييت رأس الانزلاق والنهاية العليا والســفلى لذراع التوصيل باستخدام الـــذراع المتأرجح Articulated pipe .

شكل (٢ ــ ٦١ ب)

RND Lubrication system for main bottom and top end bearing



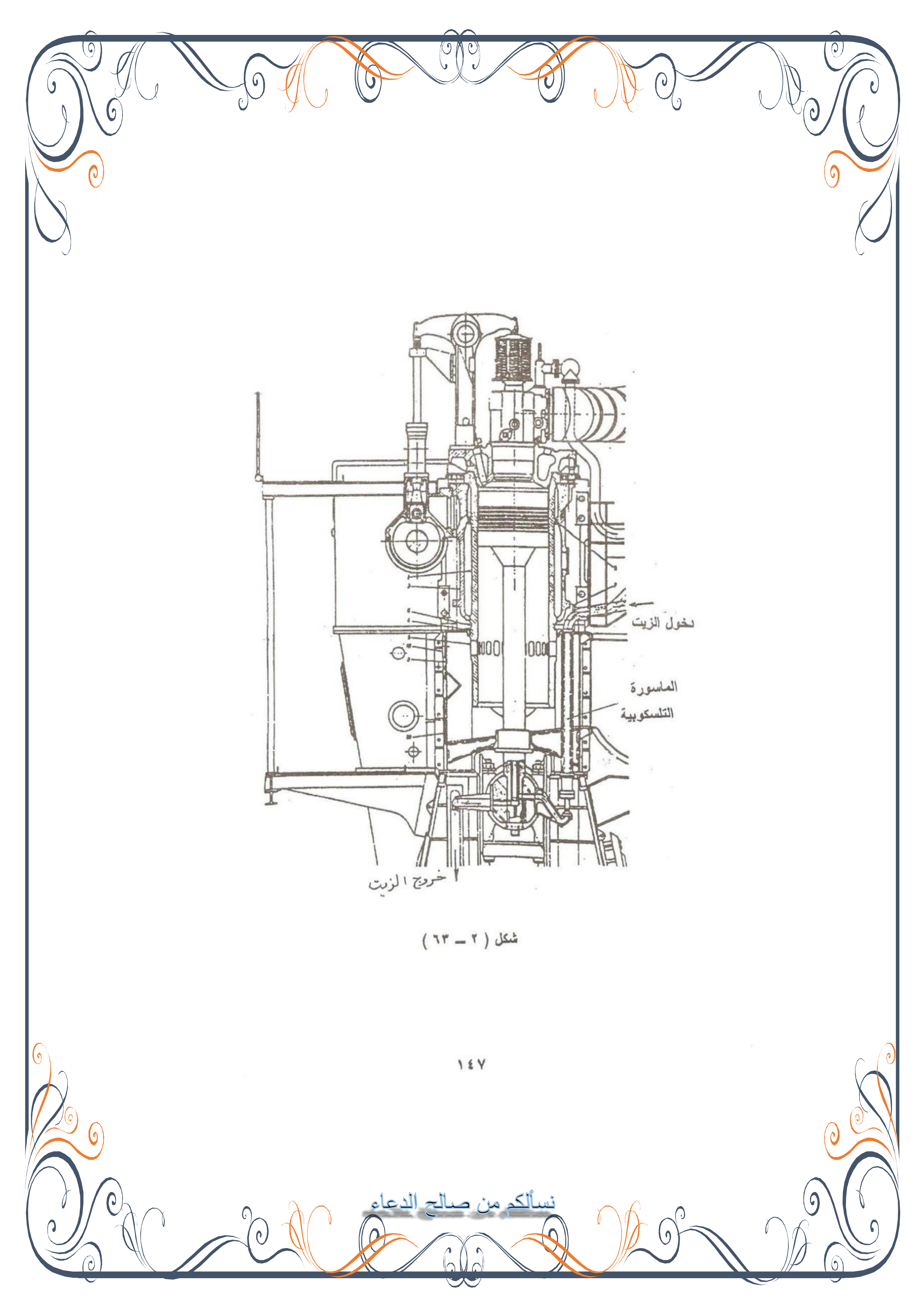
أما الشكل (٢ _ ٦٢) فيوضح الذراع المتأرجح وكيفية تزييت البنز العلوى والأدلة ، كما يوجد حوضين يتجمع فيهما الزيت عن طريق ثقبين بالنصفين السفليين للقمة العلوية، وبعد ذلك يتجه إلى النهاية الكبرى عن طريق الثقب الموجود فى ذراع التوصيل لمحرك ' سولزر ' . أما تبريد المكبس فيتم بالماء بواسطة ماسورة تلسكوبية .



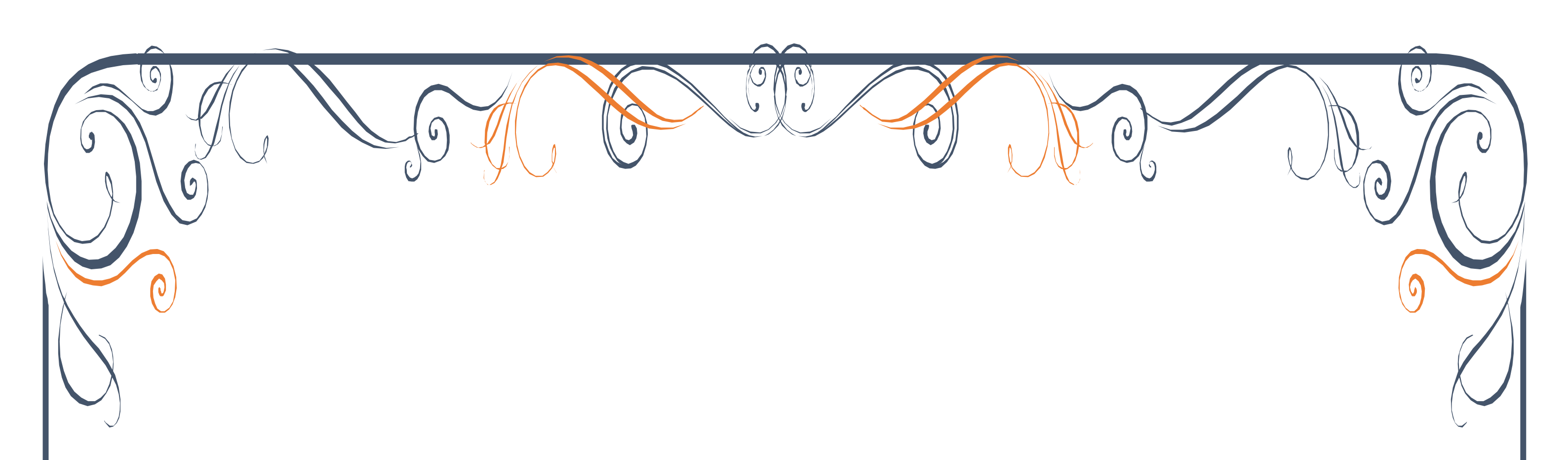
Lubrication arrangement for crosshead and slippers

شكل (٢ ــ ٦٢)

وشكل (٢ ــ ٦٣) يوضح دخول الزيت عن طريق الماسورة التلسكوبية لمحرك B & W حيث يوجه جزء منه لتبريد المكبس عن طريق عمود المكبس ، والجزء الآخر لتزييت بنوز رأس الانزلاق والأدلة ، ثم يتجمع الزيت عن طريق ثقبين بالجزء العلوى لذراع التوصيل الذى به ثقب طولى ليسمح بمرور الزيت لأسفل لتزييت النهاية الكبرى .



شكل (٢ ــ ٦٣)



٣ ـ ٩ ـ ١ العوامل التى تؤثر على تزييت الكراسى :

Factors affecting bearing lubrication :

للحصول على تزييت جيد لأى كرسى يلزم الاحتفاظ بطبقة مستمرة من الزيت تفصل سطحى التشغيل ، وفى ذلك تؤثر العوامل التالية :

أ) لزوجة الزيت Oil viscosity

إذا زادت لزوجة الزيت يقل احتمال انفصال طبقة الزيت وذلك إلى حدود معينة .

ب) السرعة النسبية Relative speed

كلما زادت السرعة النسبية بين سطحى التشغيل ، يزيد ضخ الزيت فى الخلوص بينهما ويساعد ذلك على كفاءة التزييت .

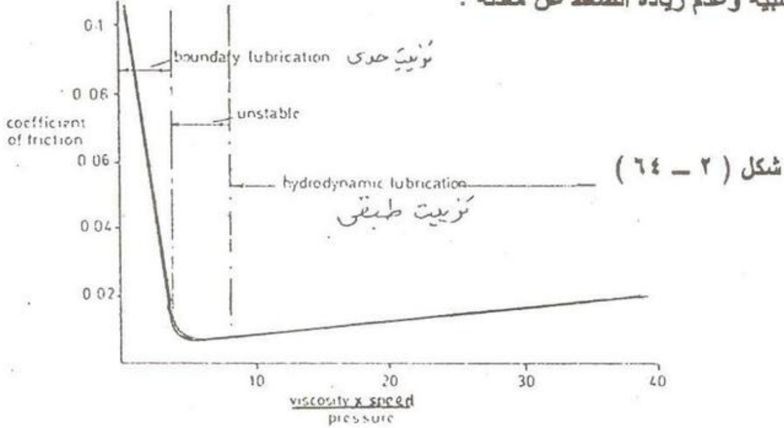
جـ) الضغط Pressure

إذا زاد الضغط على البنز (الحمل / المساحة) تنكسر طبقة الزيت ، أى يساعد على هروب الزيت .

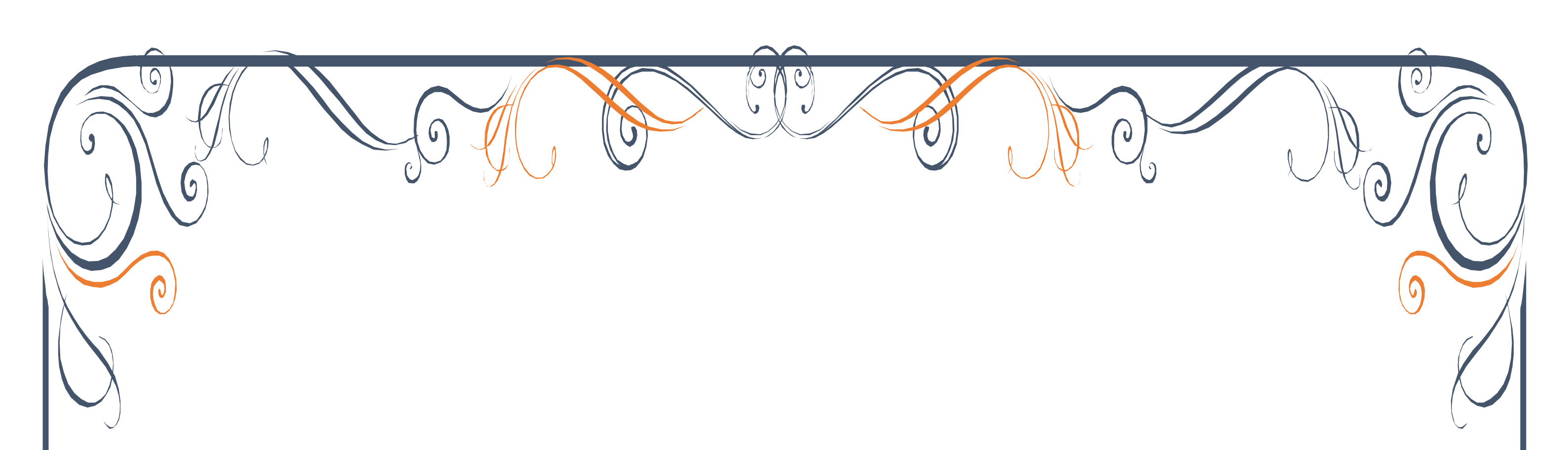
د) الخلوص : Clearance

إن زيادة الخوص تعمل على ظهور دق Bearing knock والذى من دوره قد يزيد الحمل على الكرسى وكذلك الضغط عن العادى مما يتلف التزييت الطبقى .

والشكل (٢ ـ ٦٤) يوضح العلاقة بين معامل الاحتكاك والعوامل (أ ، ب ، جـ) ومن ذلك يتضح أنه للحصول على التزييت الطبقى للكراسى ضرورة الاحتفاظ بالسرعة النسبية وعدم زيادة الضغط عن معدله .



شكل (٢ ـ ٦٤)



ولكن دائماً ما يتعرض كرسى النهاية العليا لظروف صعبة يمكن حصرها فى الآتى :

١. عند ن.م.ع. تكون السرعة النسبية مساوية للصفر والضغط مساوياً للقيمة القصوى ،

٢. فى المحركات ثنائية الأشواط يستمر عصر طبقة الزيت فى شوطى التمدد والانضغاط .

٣. فترة عصر طبقة الزيت تعد طويلة حيث أن المحرك بطئ السرعة .

وعليه يجب البحث عن طرق لتحسين التزييت.

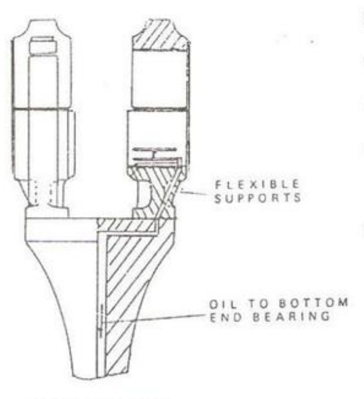
٢ ـ ٩ ـ ٢ : طرق تحسين تزييت كراسى النهايات العلوية لأذرع التوصيل :

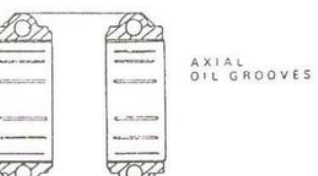
Methods of improving top end bearing lubrication :

١. تقليل الحمل على المحامل عند النقطة الميتة العليا بتأثير قوى القصور الذاتى ، وهذا لا يتوافر إلا فى حالة المحركات السريعة والمتوسطة السرعة .

٢. زيادة مساحة التحميل للكرسى كلما أمكن ، يمكن توفير ذلك بزيادة قطر بنز رأس الانزلاق ، وهذا يقلل من احتمال حدوث الانحناء ويزيد السرعة النسبية .

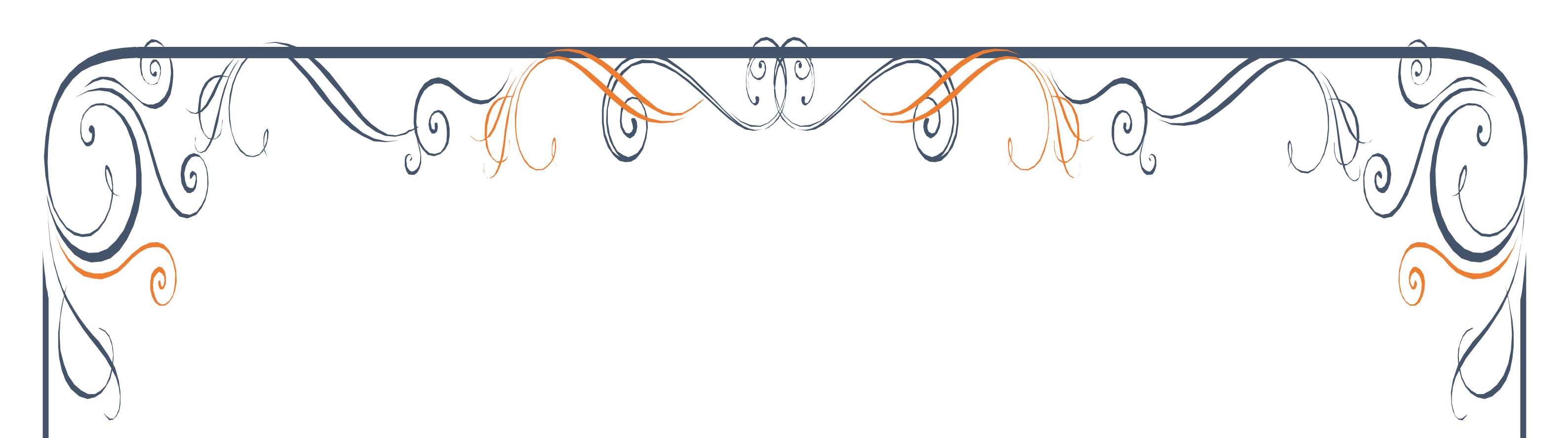
٣. عمل مجارى زيت محورية (لا تصل إلى نهايات الكرسى) وتتصل هذه المجارى بمورد الزيت ، كما يتضح فى شكل (٢ ـ ١٦٥ أ) .



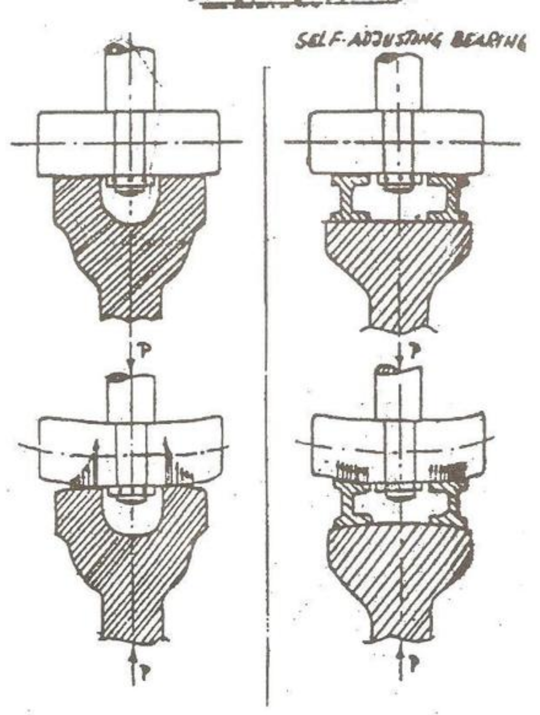


شكل (٢ ـ ١٦٥ أ)

Crosshead bearing



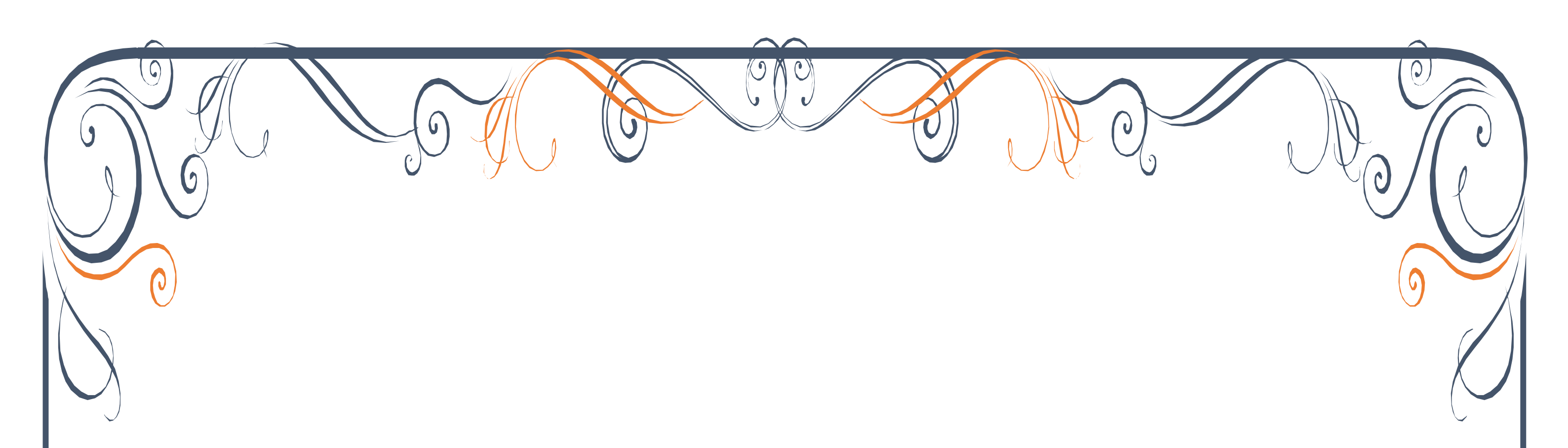
٤. تجنب تغيير قيمة الضغط على الكرسى باستخدام مقاعد مرنة واتباع تصـميم خاص كما يتضح فى الشكل (٢ ــ ٦٥ ب) .



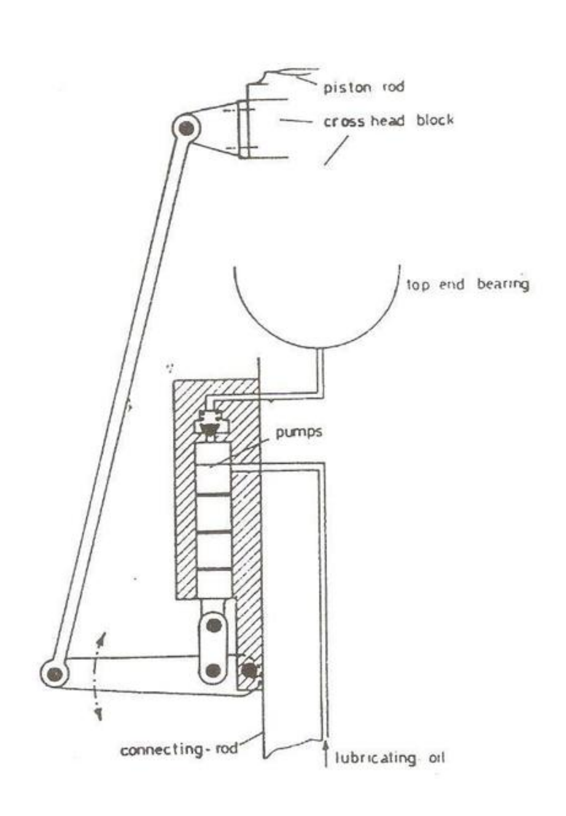
شكل (٢ ــ ٦٥ ب)

٥. استخدام سبائك خاصة للمحامل تناسب ظروف التشغيل وتطيل مدته ، وفعلاً استخدمت سبائك الألمونيوم التى تحتوى على ٢٠% قصدير ، وبثخانة أكبـر نسبياً فى لقم كراسى رؤوس الانزلاق فى المحركات الحديثة مع رفـع ضـغط التزييت إلى حوالى ١٦ بار . وقد أعطى هذا التعديل نتائج حسنة ولم تتعرض لأى من المشاكل المعروفة .

٦. زيادة ضغط الزيت للبنوز التى تجعلها دائماً فـى حـــالة عائمـة وقـد

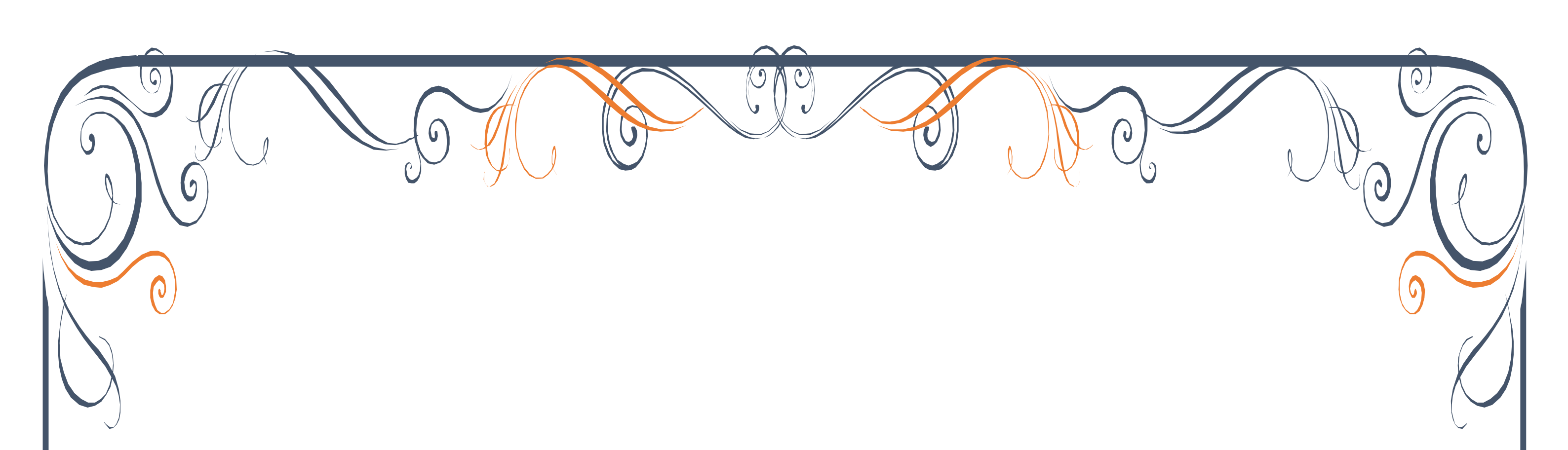


اســــتخدمت فى بعض المحــركات بتثبيت مضخة ترددية تعمــل علــى ذراع التوصيل شكل (٢ ـ ٦٦) وتعمل أتوماتيكياً بحركة ذراع التوصيل ، حيــث تسحب الزيت وتضخه فى المجارى عندما يكون المكبس بالقرب مــن النقطــة الميتة السفلى ، أى عندما يكون الحمل أقل ما يمكن .



M.A.N. KSZ- B/BL engine .

شكل (٢ ـ ٦٦)



(٢ ـ ١٠) **أعمدة المرافق** Crank-shafts

يعتبر عمود المرفق بالنسبة للمحركات كالعمود الفقرى بالنسبة للإنسان ، فيشترط أن يكون ذا قوة تحمل عالية جداً ، حيث أن تكلفة تغييره تعتبر باهظة للغاية ، وأنه ليسهل الإحساس بالمخاطر التى تتعرض لها السفينة فى حالة انهياره بعرض البحر .

والغرض من عمود المرفق هو تحويل القوى الناتجة من الاحتراق إلى عزم متغير Variable turning moment ينتقل إلى عمود الرفاص Propeller shaft .

ويتكون عمود المرفق من عدة ركب Throws تدور بواسطة القوة المماسية المنقولة للنهاية الكبرى عن طريق ذراع التوصيل . وتتكون الركبة من :

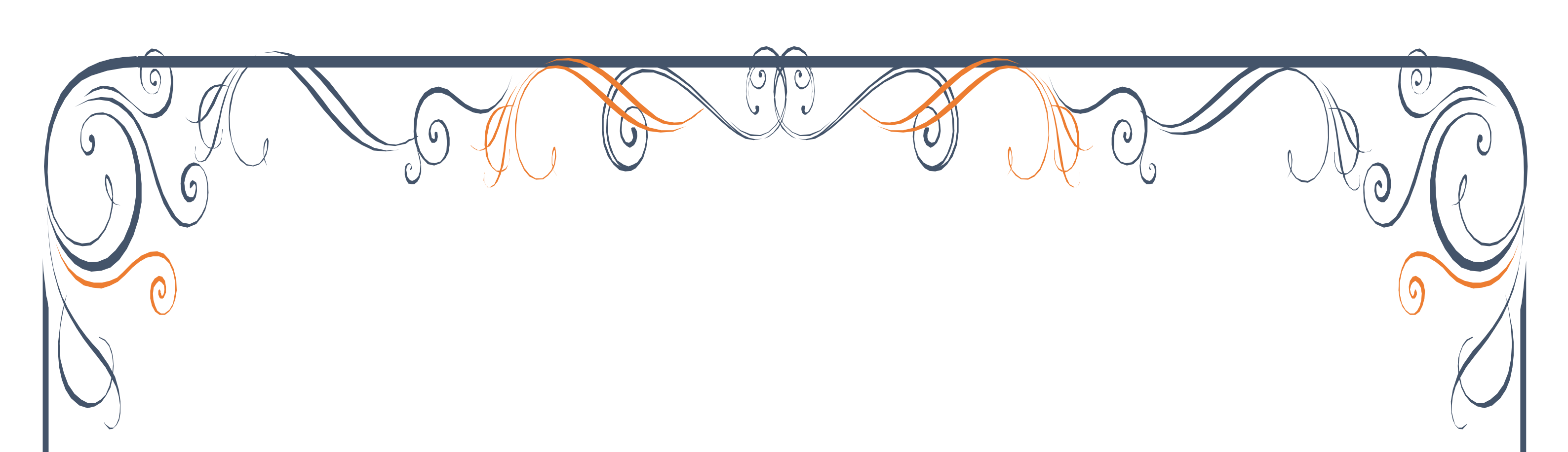
فخذتين webs متصلة ببنز عمود المرفق Crankpin (لنهاية الكبرى لذراع التوصيل) وتتصل كل فخذة بمرتكز العمود journal ، الذى يقعد على الكرسى الرئيسى .

إحدى نهايتى عمود المرفق متصلة بفلانجة نقل الحركة للرفاص ، وتكون النهاية الأخرى حرة ، ويثبت على العمود تروس لنقل الحركة لعمود الكامات . أعمدة المرفق ذات الاتصال المباشر بالرفاص تحتوى على كرسى الدفع الذى يفضل أن يكون داخل المحرك للاستفادة من التقويات فى أماكن التثبيت ، علاوة على سهولة التزييت من نفس منظومة زيت المحرك .

وأن عمود المرفق يتعرض لاجهاد الثنى Bending-stress الذى يحدث نتيجة تأثر ذراع التوصيل حينما يكون المكبس فى ن.م.ع. أى أثناء تعرضه لأكبر حمل من ضغط الغازات ، ولما كان اتجاه قوة ضغط الغازات إلى أسفل وفى اتجاه عمود المرفق ، فهى تحاول بذلك ثنى العمود بين الكرسيين الرئيسيين المتجاورين .

هذا بالإضافة إلى إجهاد لى Torsion-stress نتيجة المركبة المماسية ، وهذه الاجهادات متكررة ربما تؤدى إلى انهيار العمود تحت تأثير اجهاد الكلال .

وبالرغم من أن مهندس التشغيل ليس له التحكم فى عيوب عمود المرفق التى قد تظهر من عيب فى المعدن أو رداءة التصنيع ، ولكن له دور كبير فى الحفاظ على استقامته التامة بأن يكون البرى فى المحامل متساوى .



٢ ــ ١٠ ــ ١ : أنواع أعمدة المرافق : Crank shaft types

يمكن تصنيع أعمدة المرفق بالطرق الموضحة فى شكل (٢ ــ ٦٧) كما يلى :

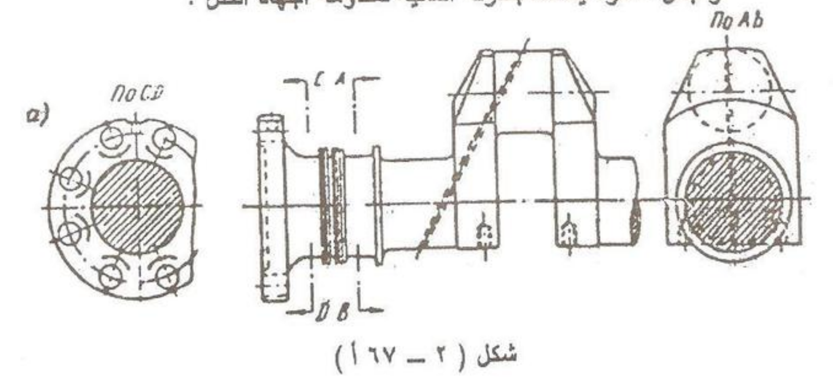
أ ــ قطعة واحدة : One piece ويصنع بالطَّرْق من الصلب المكربن أو سبائك الصلب المحتوية على النيكل والكروم والموليدنم ، وهى مستخدمة عادة فى المحركات السريعة والمتوسطة السرعة ويتم التشكيل إما بالطرق العادى أو بطريقة المسار المستمر للحبيبات :

١ ــ التشكيل بالطرق العادى : حيث يقلل سمك الكتلة لتكوين المرتكزات ، ثم يصير ثنى الركب على الزوايا المطلوبة . من هذا يتضح أن ذرات المعدن التى كانت أصلاً فى منتصف الكتلة انتقلت إلى سطح البنوز (أى فى النقاط التى يتركز فيها الاجهاد) وهذا يقلل من خواص المعدن الأصلية ، أى يقلل من مقاومة المعدن لاجهاد الكلال عما كان يتحمله أ صلا .

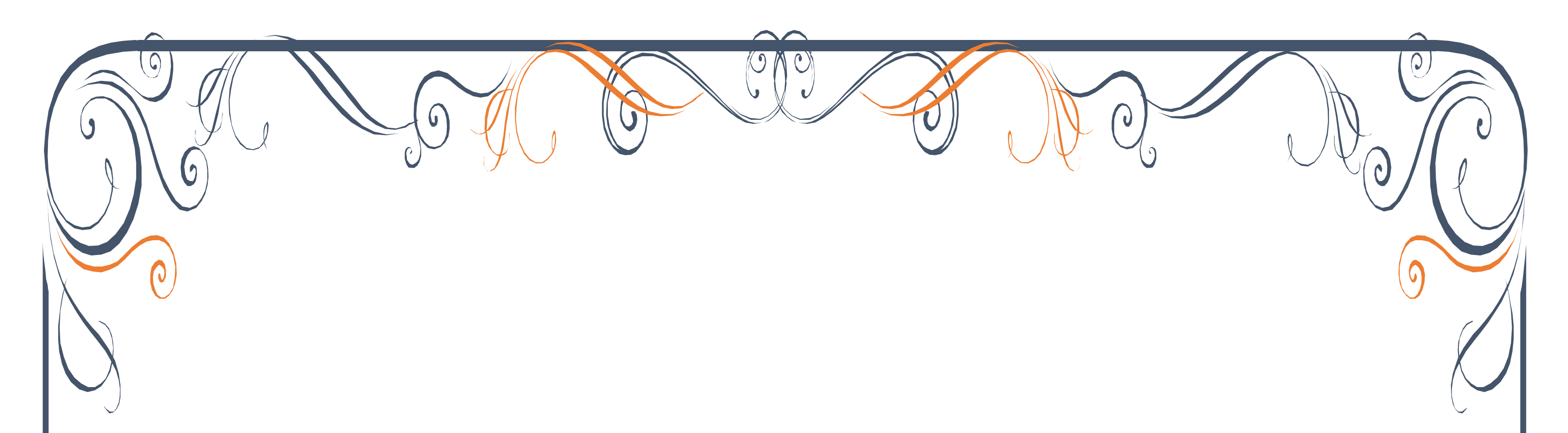
٢ ــ التشكيل بطريقة المسار المستمر للحبيبات

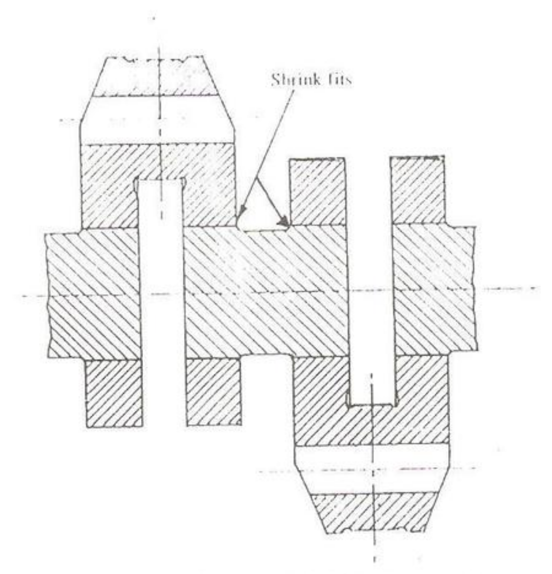
Continuous grain- flow forging

يتم التشكيل بالاستعانة بمجموعة قوالب تشكيل واسطمبات لضمان استمرارية سريان حبيبات المعدن ، بحيث تتبع مسارها حول الركب والبنوز . وبهذه الطريقة أمكن المساهمة فى الاحتفاظ بالمتانة الأصلية ، حيث أن ذرات المعدن التى كانت أصلاً موجودة فى محور الكتلة تحتفظ بمكانها ، أى تتخذ وضع المنتصف فى البنز والفخذ ، وعليه فإن هذه الطريقة ، تساهم فى زيادة المتانة وتجعل العمود يحتفظ بقدرته العالية لمقاومة اجهاد الكلل .



شكل (٢ ــ ٦٧ أ)





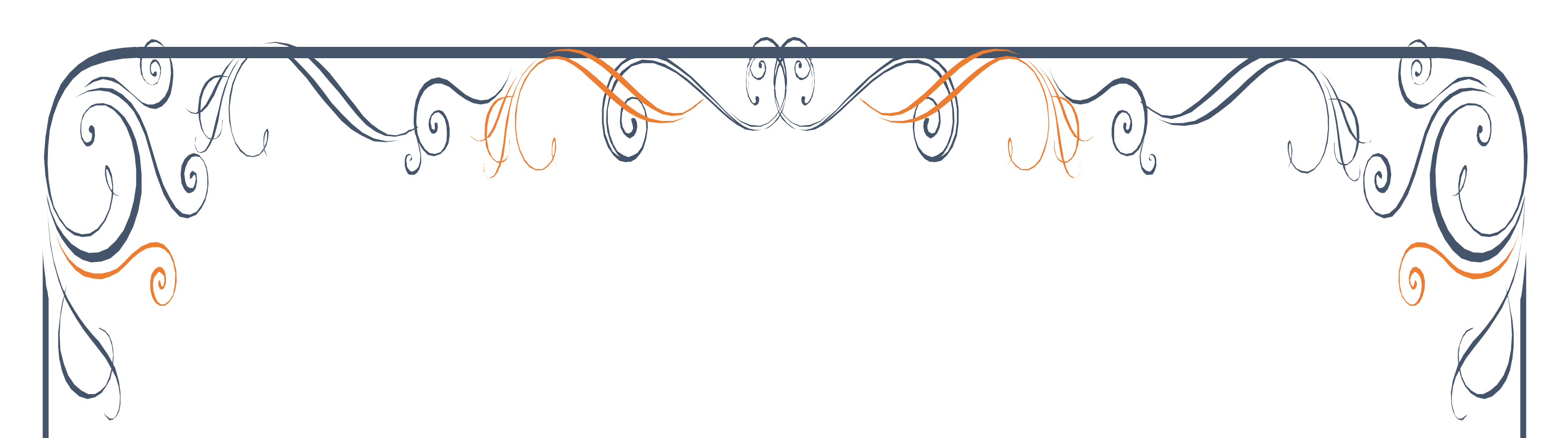
Semi built-up crankshaft for large engine

شكل (٢ ــ ٦٧ ب)

ب ــ نصف جزئية Semi-built تصنع البنوز الرئيسيةJournals على حدة وتشحط فى الفخذ Webs المصنعة مع بنوز الركب Crank - pin قطعــة واحــدة علــى الزوايــا المطلوبة.وهذه الطريقة مستخدمة فى المحركات البطيئة نظراً لكبر عمود المرفــق . وقد أثبتت عملية الشحط سلامتها ، وقدرتها على نقل العزم دون حدوث انزلاق ودون الاستعانة بأى وســـيلة تثبيت أخرى . ولكن فى هذه الحالـــة غير مصرح بعمــل ثقوب للزيت داخل العمود .

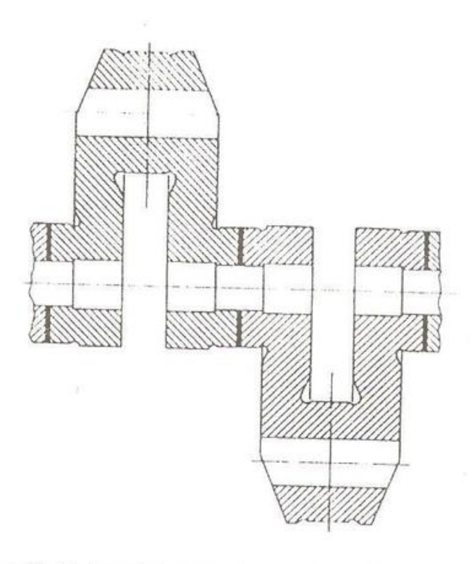
جـ ــ أعمدة المرفق الملحومة :

وقد اتبعت هذه الطريقة فى محركات B&W –MAN الكبيرة حيث يتم صب الأجــزاء المكونه من بنز النهاية الكبرى والفخذتين ونصفى طول المرتكزئين ، وتجرى عليها المعالجـــة الحرارية ، ثم يتم تجميع النهايـــة مع النهايـــة ، وعلــى زاويــة المرفق الصحيحة ثم يجــرى عليها عمليـــة اللحام بطريقة الفجوة الضــيقة Narrow gap sub-Merged arc welding حتى يتم تصنيع العمود بأكمله وتعاد عملية المعالجة الحرارية ثانية للتخلص من أى إجهادات متبقية ويتم تشطيب أســطح الأعمدة على القياسات المضبوطة ثم تجرى عليها الاختبارات الغير مدمرة .



وتتميز الأعمدة المصنعة بهذه الطريقة بالآتى :

- يمكن تصنيع الفخذ بأقل تخانة وعرض ، مما يمكن من زيادة طول البنز .
- تسمح بزيادة أقطار البنوز والمرتكزات دون الخوف مـن التـداخل Overlap وهذا يقلل من الضغط الواقع على المحمل .
- تعتبر هذه الأعمدة أقل طولاً لنفس القدرة وعليه يقل حجم المحرك .

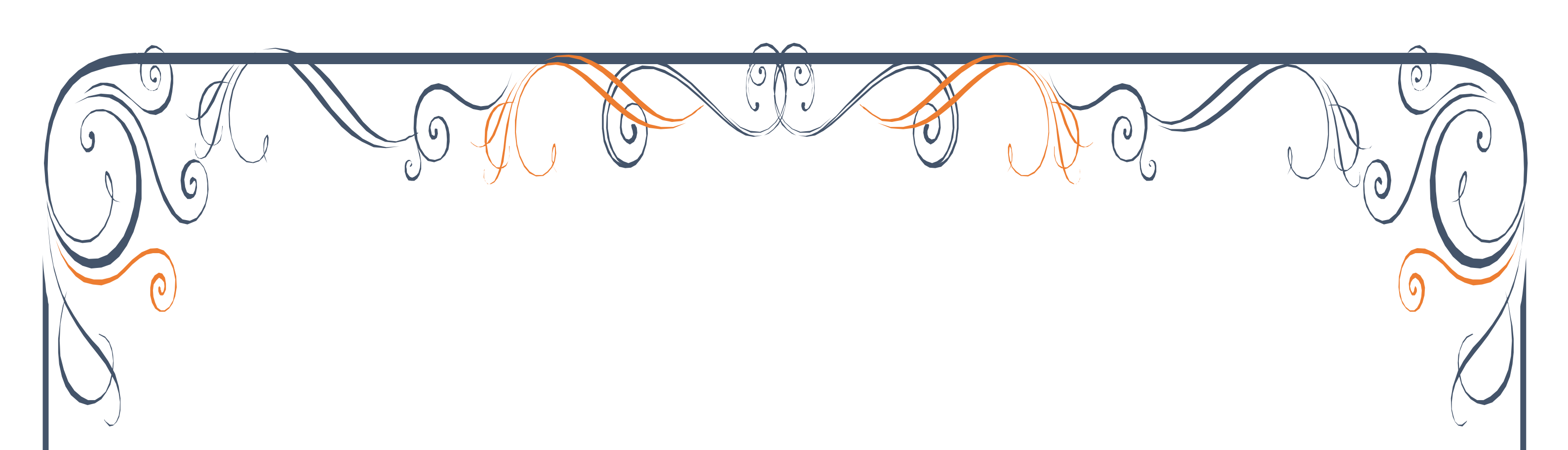


Welded crankshaft for large engine (MAN - B & W)

شكل (٢ ــ ٦٧ جـ)

ويجب أن تتوافر الاشتراطات التالية فى المعدن الذى تصنع منه أعمدة المرافق :

- قوة شد عالية ، ومقاومة كبيرة للكلال ، مع العلم أنه توجد معادن عديدة لها قوة شد عالية ولكنها لا تتحمل إجهاد الكلال Fatigue .
- معامل صلابة عال Modulus of rigidity لتحمل إجهادات اللى .
- صلادة كافية للسطح Surface hardness لتحمل الضغوط الدافعه .



وعليه تصنع أعمدة المرفق للمحركات السريعة من سبائك الصلب التى تحتـوى علـى النيكل والكروم والموليبدنم . وتصل صلادة السطح إلى .B.H.N 480 ويستخدم عادة مع لقم كراسى مبطنة بالسبيكة الحمراء Rose metal .

اما فى حالة المحركات الكبيرة فتصنع اعمدة المرافق من سبائك خاصه وتكون عـادة نصف جزئية ، والآتى بعد مكونات أحد السبائك المستخدمة فى تصنيع عمود مرفق لمحرك ديزل ذات خدمة شاقة :

C = 2.2 : 2.8 %	SI = 1.75 : 2.5 %
PH = 0.25 %	Mn = 0.75 : 1.25 %
Ni = 0.75 : 2 %	Mo = 0.75 : 1.35
S = 0.1	
B.H.N = 275 : 325	U.T.S = 400 M.N. / m^2

وبعد الصب تجرى على عمود المرفق عملية معادلة Normalizing لتحسين بنـاء الجزيئات ، يليها عملية مراجعة Tempering وذلك لتخليصه من الاجهادات .

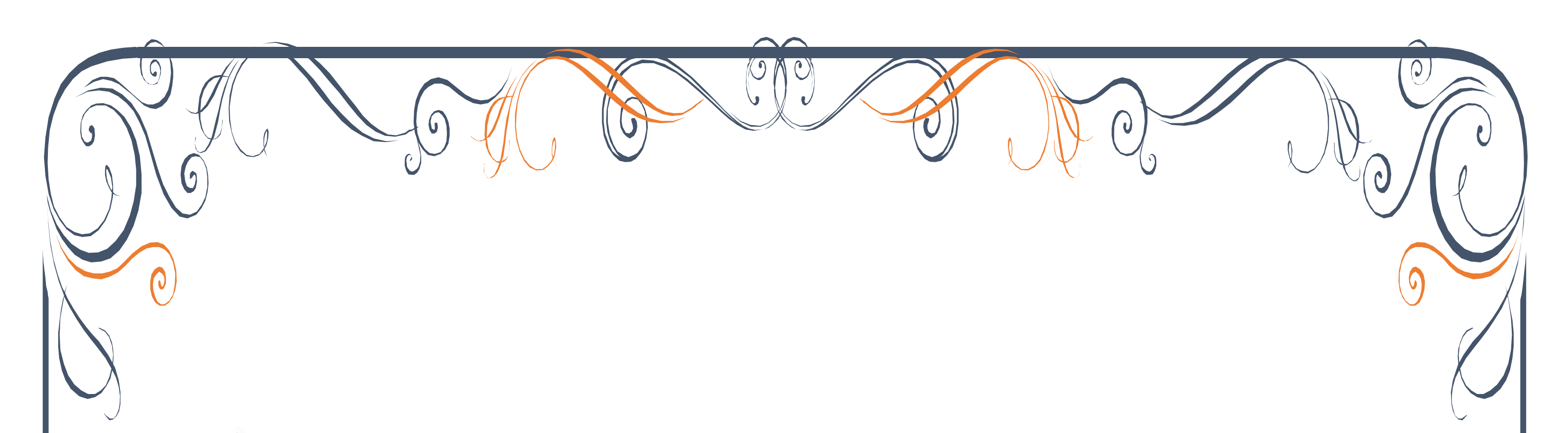
وتجرى على البنوز عملية تجليخ Grinding وتلميع Polishing .

ويلاحظ النقاط التالية لتجنب تركيز أى إجهادات عند تغيير المقطع :

- يجب تدوير شفة أى ثقوب للزيت فى أعمدة المرفق (إن وجدت) مع تنعيمها .
- يجب تدوير أركان الانتقال Fillets على أنه لا يقل نصف القطر عن ٥% مـن قطر العمود .

بعد ذلك يختبر اتزان العمود Balancing ويجرى على الأعمدة الكبيرة اتزان استاتيكى فقط Static ولكن يجرى على الأعمدة الصغيرة الاتزان الاستاتيكى والديناميكى Dynamic بواسطة أجهزة خاصة .

توضع علامات على السطح الخارجى لوصلات بنوز الركب مع الفخذة فى حالة الأعمدة الجزئية وذلك لتبين حدوث أى إنزلاق Slip لاحق بينها .



ويمكن حساب قطر عمود المرفق من العلاقة التالية :

$$d = \sqrt[3]{D^2\,(\alpha L + Bx)}$$

Where :

d = shaft diameter

D = cylinder bore

L = stroke

$\alpha = 0.13$, $B = 0.05$

x = distance between outer surface of the two webs of throw

٢ ــ ١٠ ــ ٢ : زوايا المرفق وترتيب الحريق : Crank angle and firing order

للحصول على دوران منتظم فى المحرك الديزل المتعدد الاسطوانات ، فإنه يجب أن يتم الاحتراق داخل الاسطوانات على فترات منتظمة أى يتباعد بزوايا ثابتة . وتكون هذه الزوايا كالتالى : ــ

فى المحركات الثنائية الأشواط = ٣٦٠° (عدد زوايا لفة واحدة لعمود المرفق) / عدد الاسطوانات

فى المحركات رباعية الأشواط = ٧٢٠° (عدد زوايا لفتين كاملتين لعمود المرفق) / عدد الاسطوانات

فمثلاً :

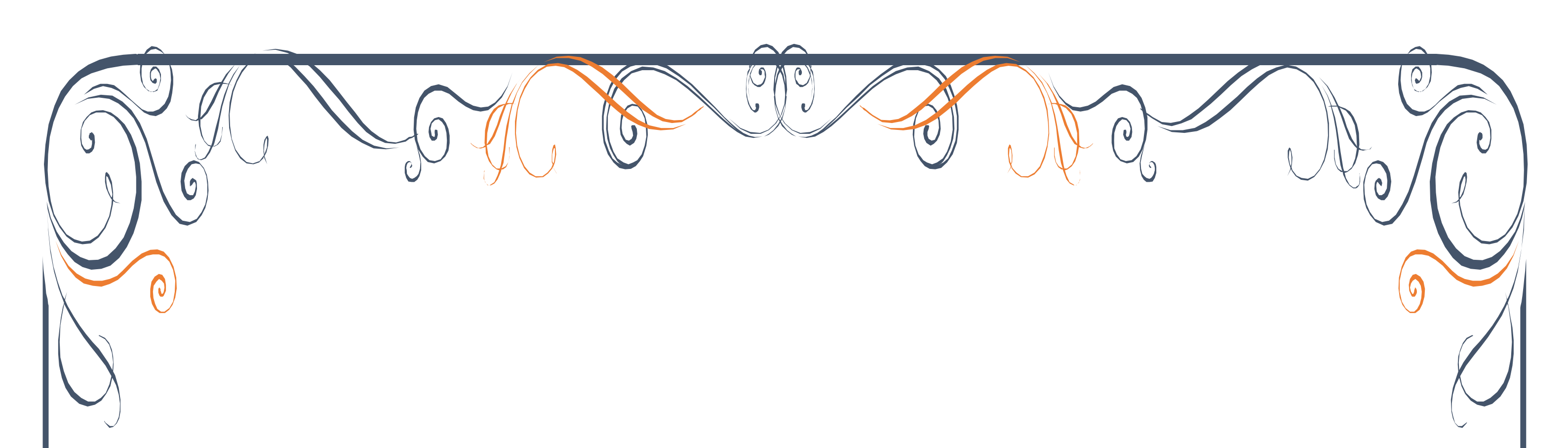
أ ــ لمحرك ثنائى الأشواط مكون من ٨ اسطوانات :

زاوية المرفق = ٣٦٠° / ٨ = ٤٥°

ب ــ لمحرك رباعى الأشواط مكون من ٨ اسطوانات :

زاوية المرفق = ٧٢٠° / ٨ = ٩٠°





أما ترتيب الاجتزاءات للمحركات المختلفة فهى بنظام مألوف Conventional Arrangement كما فى شكل (٢ ــ ٦٨) مراعى فيه الدوران المنتظم مع اشتراط أفضل اتزان Balancing ، كما أن الغرض هو التوزيع المنتظم للاجهاد الواقع على عمود المرفق نتيجة الاحتراق ، وذلك باتباع الحريق المتباعد كلما أمكن ، أى تلاشى حدوث الاحتراق المتتالى فى اسطوانتين متجاورتين أو حتى متقاربتين حتى لا يؤدى ذلك إلى زيادة الاجهادات .

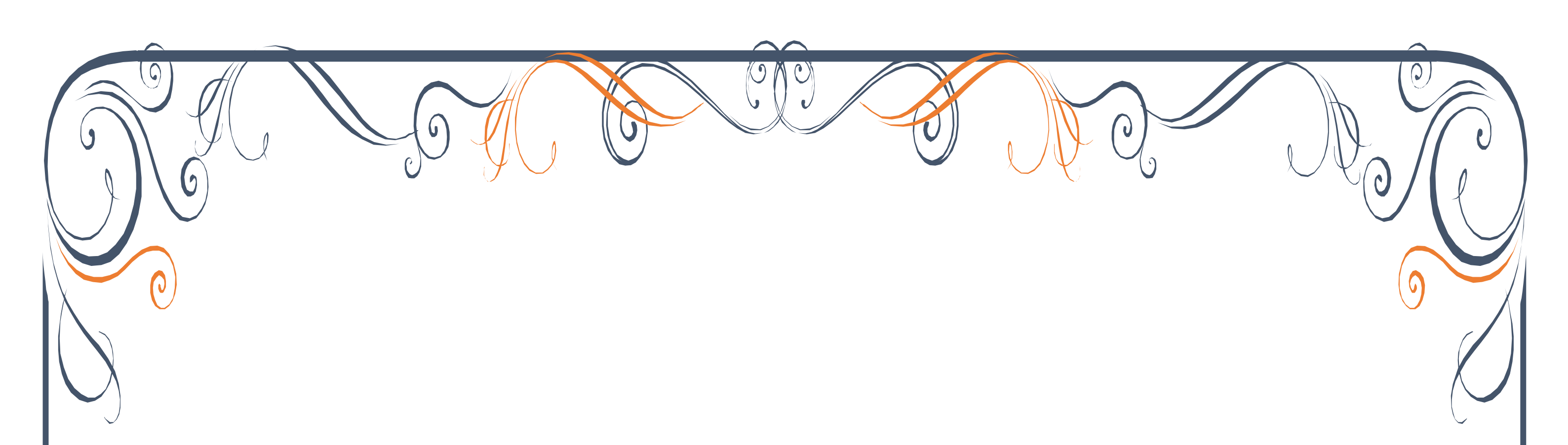
No. OF CYLINDERS	FOUR - STROKE ENGINES: ARRANGEMENT OF CRANKS	FOUR - STROKE ENGINES: FIRING ORDER	TWO - STROKE ENGINES: ARRANGEMENT OF CRANKS	TWO - STROKE ENGINES: FIRING ORDER
2		1-2--- 1-2		1-2
3		1-3-2		1-2-3
4		1-2-4-3 OR 1-3-4-2		1-4-2-3
5		1-3-5-4-2		1-4-3-2-5
6		1-5-3-6-2-4		1-4-5-2-3-6
6		1-4-3-6-2-5		1-6-2-4-3-5
8		1-5-2-6-8-4-7-3		1-6-4-7-2-5-3-8
8		1-6-2-8-4-7-3-5		[illegible] 2-7-5-3

شكل (٢ ــ ٦٨)

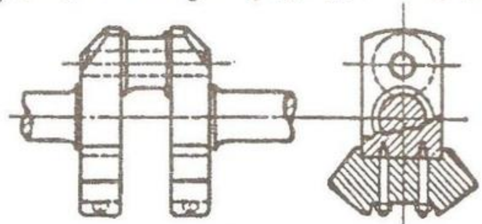
ويلاحظ أنه بالنسبة للمحركات ذات الاسطوانات الستة أو الثمانية ، يوجد ترتيبين معمول بهما وكلاهما يعطى نتائج مناسبة .

٢ ــ ١٠ ــ ٣ : أثقال التوازن Balance weight:

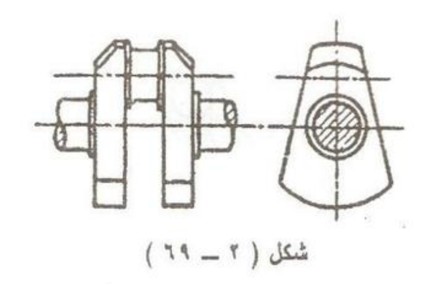
يلزم أحياناً تثبيت أثقال توازن على فخذ عمود المرفق وذلك من الجهة المقابلة للبنز



وذلك للحصول على اتزان أفضل ، وهذه الأثقال تعمل على تخفيف الحمل علـى الكراسـى الرئيسية بإزالة تأثير قوى القصور الذاتى والعمل على تحسين اتزان دوران المحرك بـأن تجعل مركز الثقل على المحور . ويراعى أن المسامير المثبتـة لهـذه الأثقـال معرضـة لاجهادات شد عالية نتيجة القوة الطاردة المركزية وأن كسرها يسبب أضراراً بالغة ، وعلى ذلك فإنه أحياناً تشكل كل هذه الأثقال كجزء واحد مع الفخذ . أنظر شكل (٢ ــ ٦٩) .



Counterweighted shaft.

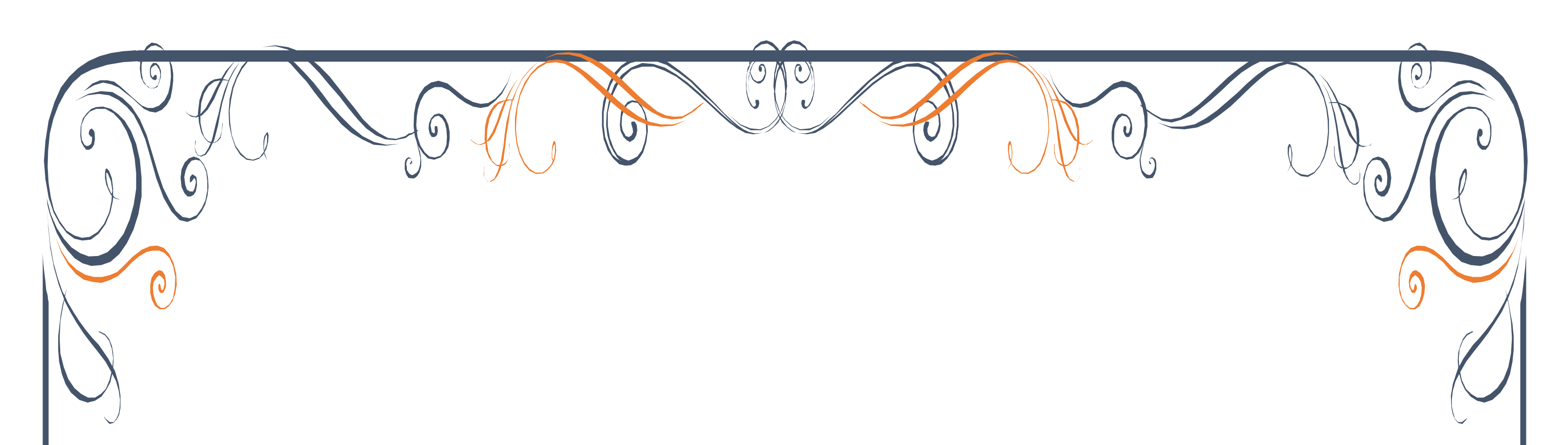


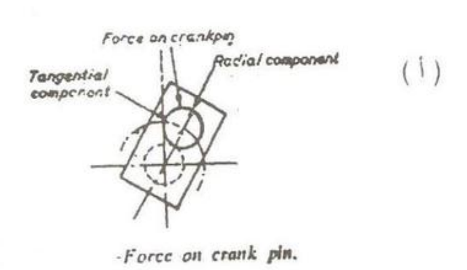
شكل (٢ ــ ٦٩)

٢ ــ ١٠ ــ ٤ : الاجهادات المؤثرة على ركبة عمود المرفق

Stresses in crank-shaft throw element :

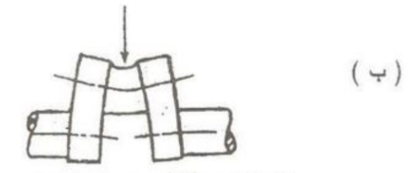
يمكن تحليل أحمال التشغيل الدورية الواقعة على بنز الركبة Crank pin إلى مركبتين ، مركبة قطرية Radial ومركبة مماسية Tangential كما فى شـكل (٢ ــ ٧٠ أ) تعمـل المركبة القطرية على ثنى الركبة فى نفس المستوى ، وتكون أكبر قيمة لها عندما تكون فى وضع أعلى ، ويكون ضغط الغازات أكبر ما يمكن كما فى شكل (٢ ــ ٧٠ ب) وينتج عزم الدوران عن المركبة المماسية ، وعند نقل هذا العزم تتعرض الفخذتين للثنى كما فى الشكل (٢ ــ ٧٠ جـ) كما أنه يسبب اجهاد لي إضافى على بنز الركبة .





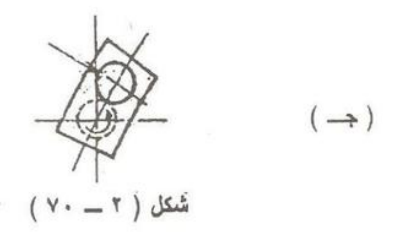
(أ)

-Force on crank pin.



(ب)

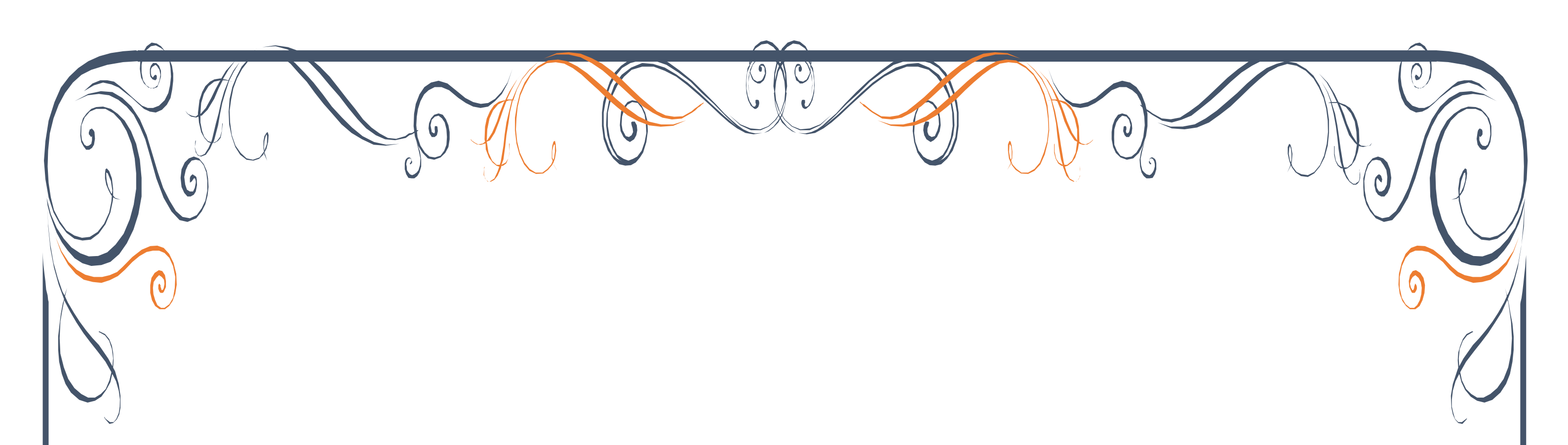
plane bending from radial component.

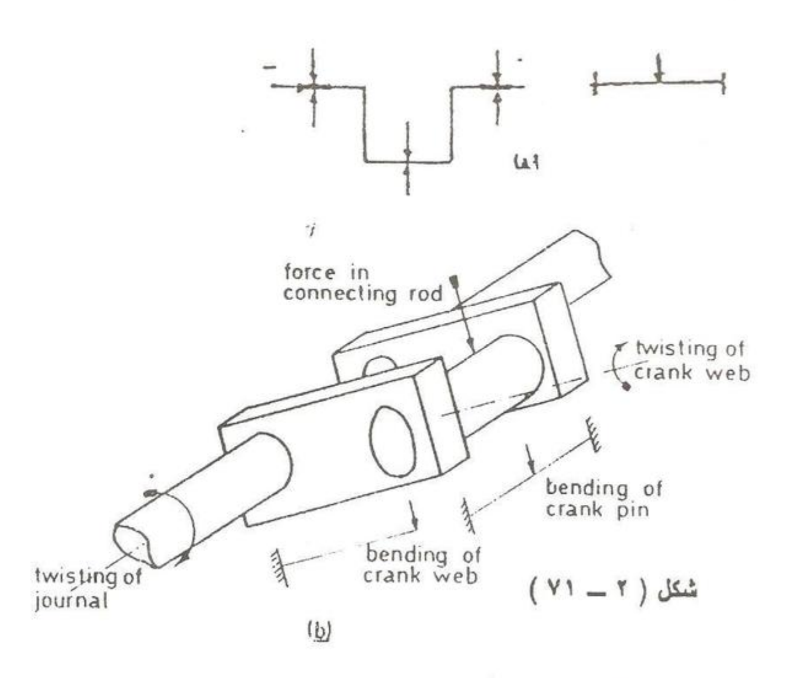


(جـ)

شكل (٢ ــ ٧٠)

والشكل (٢ ــ ٧١) يوضح ركبة واحدة لعمود المرفق والقــوى المــؤثرة عليهــا ، فيتعرض البنز الرئيسى Journal لاجهــاد اللــى Twisting stress أمــا الفخـذة Web فتتعرض لاجهاد الثنى Bending stress واللى معاً . أما بنز الركبة فيتعرض لاجهاد الثنى كما هو واضح فى شكل (٢ ــ ٧٠ ب) . هذا بالإضافة إلى أن العمود يتعرض لاجهــادات لى نتيجة الذبذبات التى يسببها الرفاص ، وخاصة فى البحــر العــالى أو التشــغيل عنــد الســـرعات الحرجة .





شكل (٢ ـ ٧١)

٢ ـ ١٠ ـ ٥ : انهيار عمود المرفق وأسبابه : Crank-shaft failure

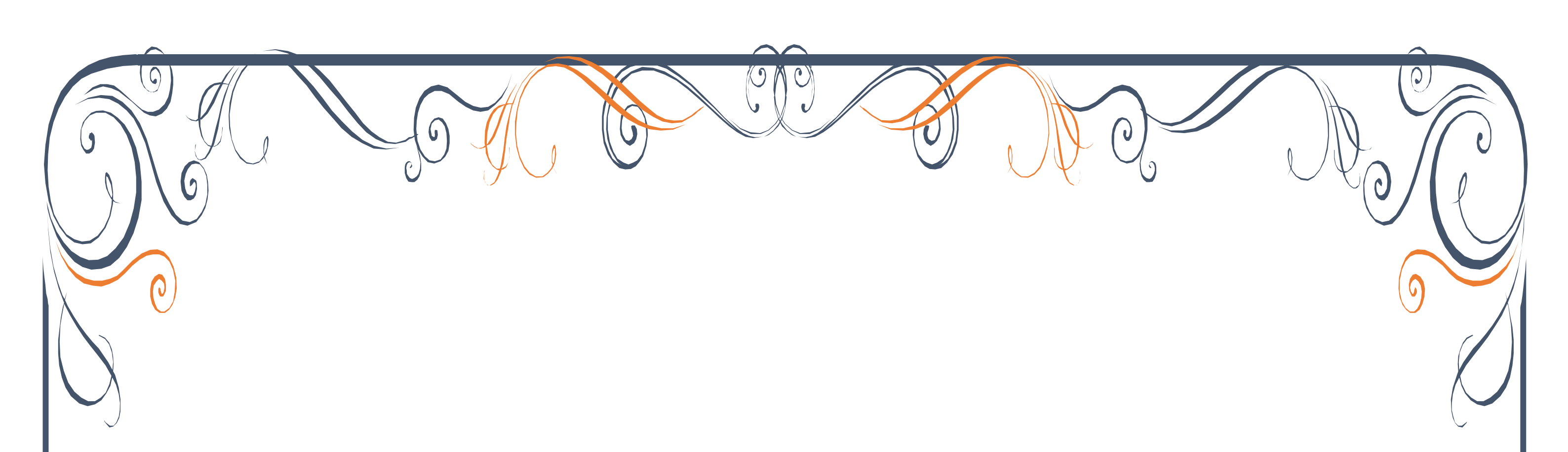
أولاً : انهيار نتيجة الكلال Fatigue

معظم انهيارات عمود لمرفق تظهر نتيجة شروخ متقدمة تحدث من أحد أو كلا السببين الآتيين :

أ) اجهادات ثنى متكررة .

ب) اجهادات لى متغيرة .

والاجهاد المتكرر عدة مرات على الجزء يؤدى به إلى درجة الكلال Fatigue هذا بالرغم من عدم وصول هذا الاجهاد نفسه إلى حد المرونة Elastic limit . إن إجهاد الثنى المتكرر قد يوصل عمود المرفق إلى درجة تزيد عن حد الاحتمال -Endurance limit نتيجة أن أحد المحامل أوطى أو أعلى من المحامل الأخرى (أى عدم الاستقامة التامة للعمود) لو فرضنا أن الاستقامة كانت موجودة فعلاً عند بداية تشغيل المحرك ، ولكن قد تحدث عدم الاستقامة نتيجة سبب أو أكثر ، ولنذكر منها :



١ ـ زيادة البرى فى أحد الكراسى ، نتيجة انهيار أو عدم وصول طبقة الزيت اللازمة أو تلوث زيت التزييت أو وجود نبذبات أثناء التشغيل .

٢ ـ تشوه فى فرش المحرك ، وقد يحدث ذلك نتيجة شحط السفن أو تعرضها لأمواج عالية فى بحر عاصف ، أو عدم التحميل الصحيح على الركائز فى الحوض الجاف .

فعلى ذلك يستلزم الأمر إعادة اختبار الاستقامة لعمود المرفق فى حالة تعرض السفينة لأى من هذه النقاط .

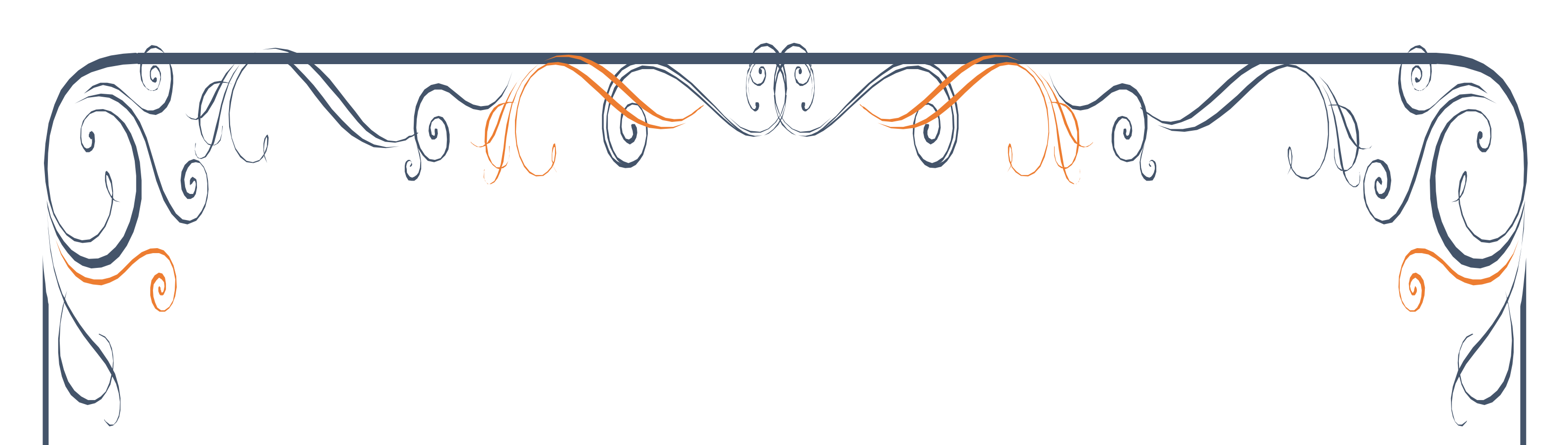
أما إجهادات اللى المتغيرة : التى قد تصيب عمود المرفق فهى بسبب ظهور نبذبات لى نتيجة عدم مراعاة الاتزان الصحيح للمحرك ، أو التشغيل الغير سليم ، عند أو بالقرب من السرعات الحرجة Critical-speed ، وعلى ذلك يتعرض العمود لاجهادات ديناميكية اضافية عالية ، ويمكن أن تزيد عن حد الكلال وينهار العمود تماماً .

والسرعة الحرجة Critical speed

هى السرعة التى يحدث عندها توافق بين تردد عزم الدوران الناتج عن الحريق مع التردد الطبيعى للمجموعة الدوارة ، ويحدث عندها الرنين Resonance ويصبح العمود فى وضع خطر أى عرضة للكسر بتأثير الاجهادات الزائدة . وتعرف هذه السرعة بالسرعة الحرجة العظمى Major critical-speed ، وتعتمد السرعة الحرجة على وزن ومرونة العمود والاثقال الموجودة عليه ، ولا تعتمد على الحمل .

ثانياً : عدم سلامة التصنيع قد تؤدى إلى انهيار عمود المرفق وهى حالات نادرة جداً والعطب قد يحدث من وجود خبث Slag فى المعدن أو عدم معالجة العمود حرارياً بالطريقة السليمة ، أو عدم اتباع التشطيب السليم خاصة فى الأسطح والدورانات والثقوب .

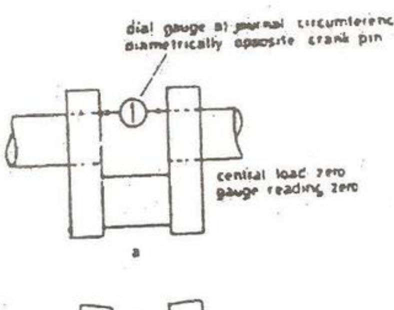
ثالثاً : انزلاق الفخذة على البنز الرئيسى : وقد يحدث هذا عند قفش المكبس Piston-seizure ـ أو عند إدارة المحرك وتعشيقة التقليب مثبتة أو كسر مسامير النهاية الكبرى لذراع التوصيل .

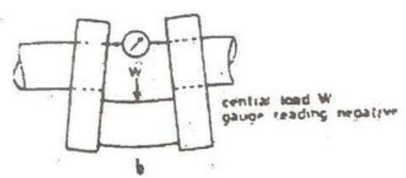


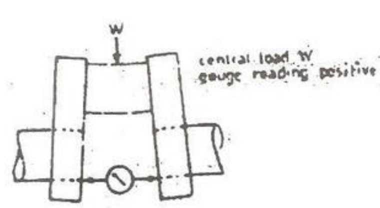
٢ ــ ١٠ ــ ٦ : استقامة عمود المرفق : Shaft alignment

إذا وجد خلوص تحت أى بنز رئيسى لعمود المرفق ، فهذا يعنى بالمقارنة وجود كرسى مجاور مرتفع نسبياً وأن العمود ليس قاعداً على الكرسى ، مما يظهر عدم الاستقامة أثناء التشغيل . ويحدث هذا نتيجة زيادة البرى فى أحد الكراسى أو حدوث تشوه فى الفرش أو تحرك الدعامة العرضية تحت الكرسى ، وتتحدد عدم الاستقامة بقياس الانحراف Defection .

فى حالة وجود عدم استقامة فإن الفخذ تقفل وتفتح قليلاً عندما يدور عمود المرفق كما هو واضح فى شكل (٢ ــ ٧٢) ولقياس الانحراف يوضع جهاز القياس (الميكرومتر) بين الفخذتين فى مكانها المحدد كما فى شكل (٢ ــ ٧٣ أ) وتؤخذ القراءات فى خمسة أوضاع لعمود المرفق كما فى شكل (٢ ــ ٧٣ ب)، ولنبدأ بالوضع (A) عندما تكون الركبة فى اسفل وضع لها ويكون الجهاز ملاصق لذراع التوصيل ولتكن هذه القراءة (صفر)





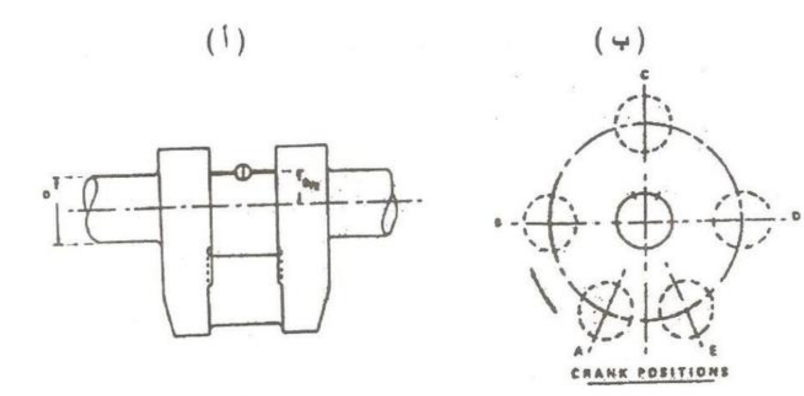


شكل (٢ ــ ٧٢)

يتم إدارة العمود بجهاز التقليب وتؤخذ القراءات فى الأوضاع " B, C, D, E " وتراعى العلامة (+ أو -) .

تؤخذ القيمة المتوسطة للقراءتين (E,A) معاً وهى تعتبر القراءة عند وضع الركبة بأسفل وتكرر هذه الطريقة لكل اسطوانة ، ويستعان بالفلر للتأكد من أن البنوز مرتكزة تماماً على الكراسى وغير مرفوعة عنها .





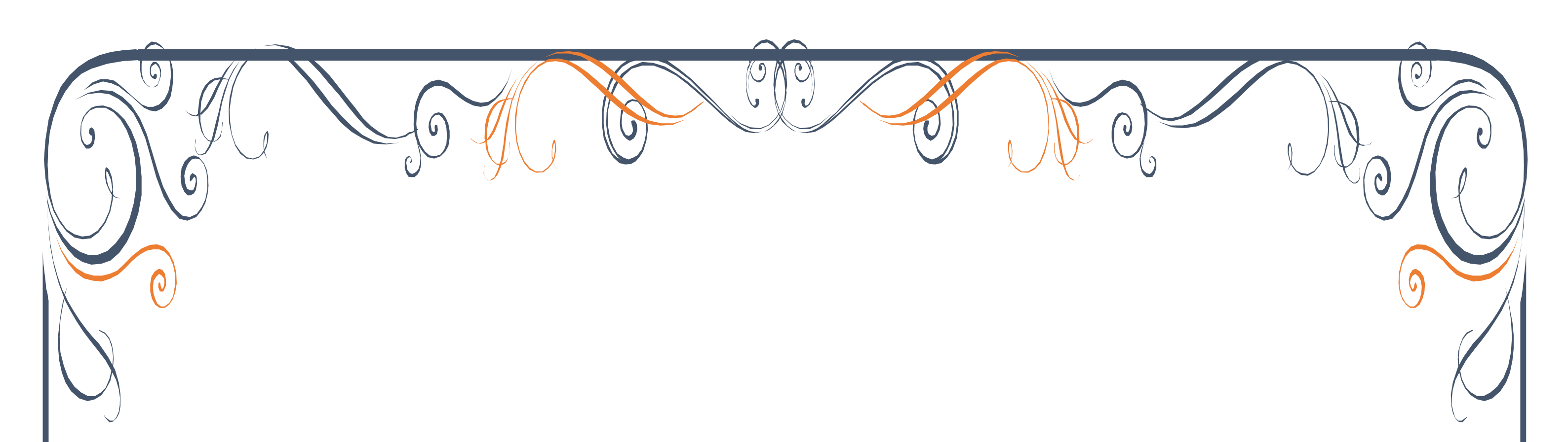
Cylinder Nº	1	2	3	4	5	6
Crank Pos. A						
Crank Pos. B						
Crank Pos. C						
Crank Pos. D						
Crank Pos. E						
Equiv. $\frac{A+E}{2}$						
Vert. Def $C - \frac{A+E}{2}$						
Hor. def B - D						

(جـ)

شكل (٢ ـ ٧٣)

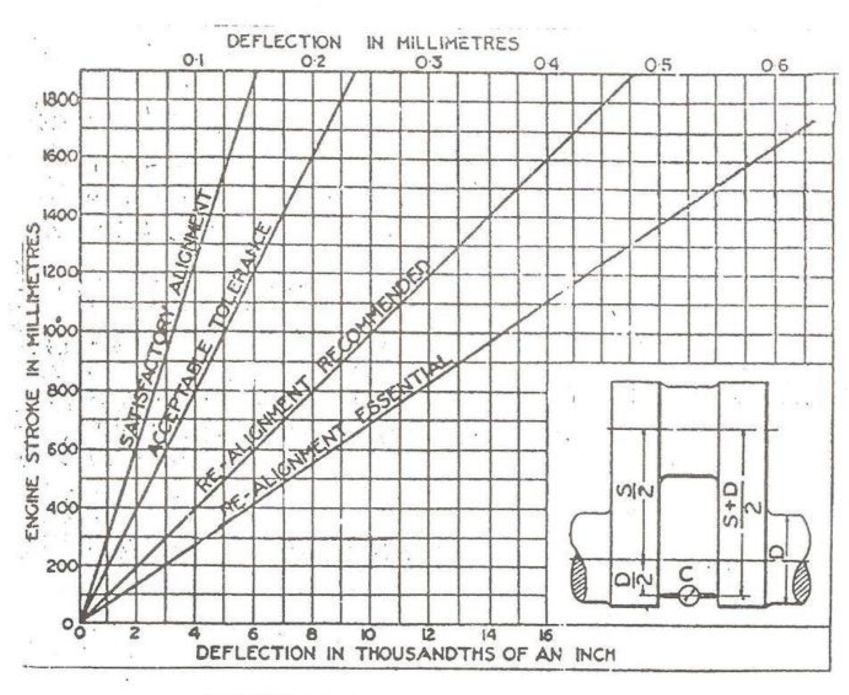
يراعى عكس اتجاه الدوران قليلاً لتخفيف الحمل على سنة الترس قبل أخذ القراءة وذلك للحصول على نتائج صحيحة .

تسجل القراءات فى جدول شكل (٢ ـ ٧٣ جـ) وتقارن بالقراءات السابقة ويفضل أن تكون السفينة بنفس الحمولة .



تحدد قيم الانحراف الرأسى وهى تساوى الفرق $C - \frac{A+E}{2}$ ، والانحراف الأفقى ويساوى B-D، وبواسطة قيم الانحراف الرأسى يمكن رسم خط منحنى يبين مكان الكرسى العالى أو الواطى ويمكن الاستعانة بجهاز الكوبرى Bridge gauge لتأكيد ذلك .

والقيم النهائية للانحراف المسموح به محدد بمعرفة الصانع ، وتعتمد على مرونة العمود ونسبة المشوار للقطر .. ويمكن معرفة الحالة بتحديد القيمة على الكرت البيانى شكل (٢ ــ ٧٤ أ) .

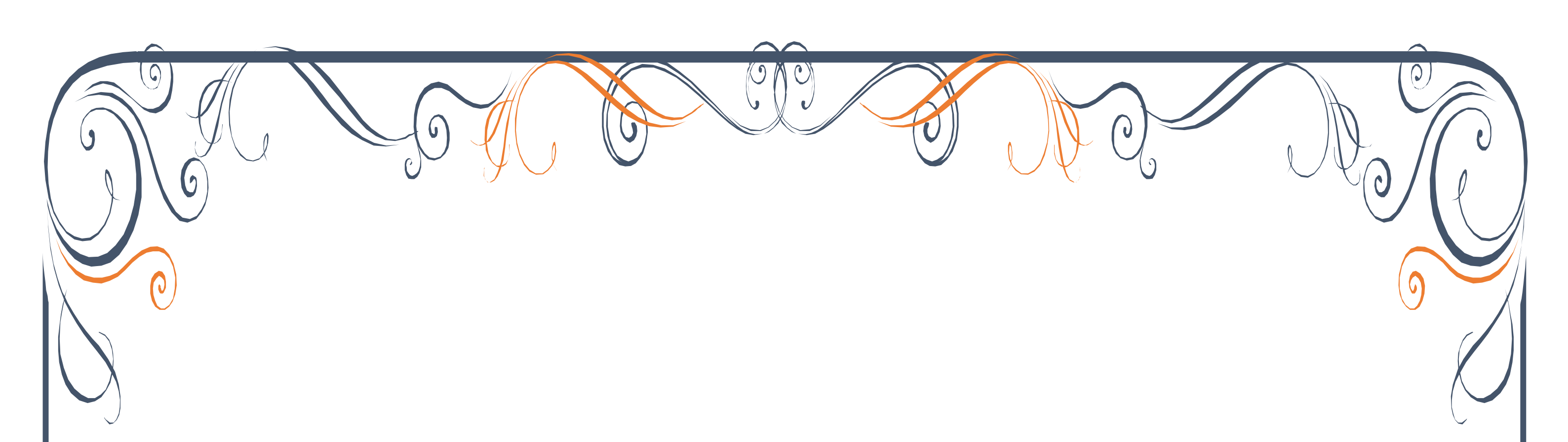


ALIGNMENT DIAGRAM OF CRANKSHAFT

شكل (٢ ــ ٧٤ أ)

وإذا وجدت أى قيمة تزيد عن المسموح به فيجب اعادة صب الكرسى أو تجديده فوراً .

وحيث أن قياس الانحراف يشير إلى مدى عدم الاستقامة ، فإنه يجب أخذه دورياً أو عند شحط السفينة أو إصابة الرفاص أو عموده بعطب .



والسماح بالتشغيل مع عدم الاستقامة ، سوف يؤدى إلى ثنى عمود المرفق وتعرضه للاجهادات المتغيرة ، والتى تسبب اهتزازات Vibrations وضوضاء Knock تؤدى إلى تلف سبائك الكراسى الرئيسية ، وبالإضافة فإنه قد ينهار العمود نتيجة الكلال Fatigue .

والجدول شكل (٢ ــ ٧٤ ب) يحتوى على القراءات المأخوذة من محرك ستة اسطوانات ويتضح أن الفرق بين (C,B) دائماً أكبر من (B,D) نظراً لاتجاه ضغط الغازات ، وأن المحمل بين الاسطوانتين رقم ٣ ، ٤ عالى نسبياً ولذا يجب مراجعة أكبر قيمة على المنحنى فى الشكل (٢ ــ ٧٤ أ) .

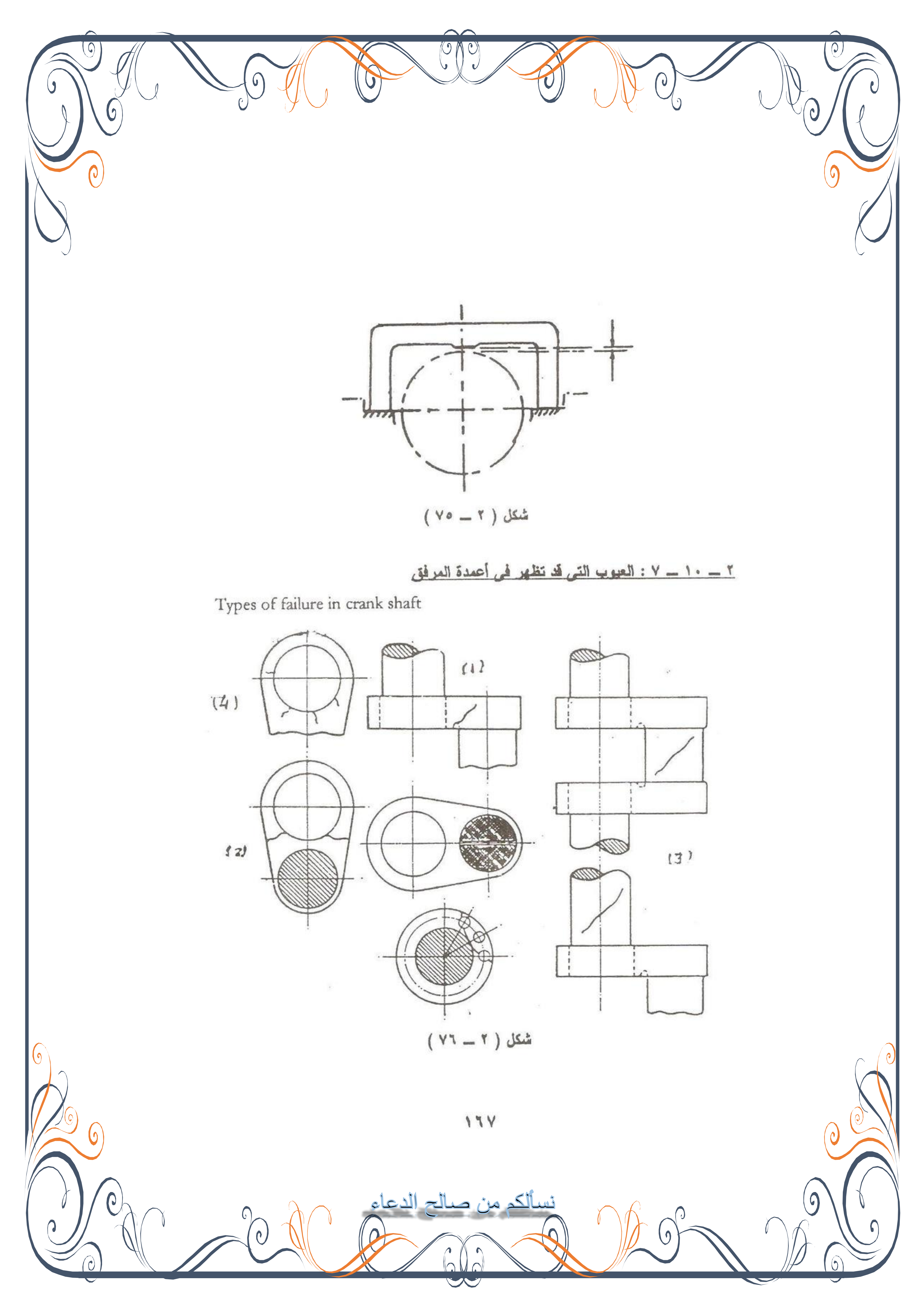
Gauge reading in mm / 100

Cylider number

Crank positio	1	2	3.	4	5	6
A	0	0	0	0	0	0
B	5	2	6	-8	-3	1
C	10	3	12	-14	-8	4
D	5	3	6	-8	-6	3
E	-2	2	-2	0	0	-2
b = (A + E)/2	-1	1	-1	0	0	-1
Vertical Mis-alignment (C-b)	11	2	13	-14	-8	5
Horizontal Miss alignment (B – D)	0	-1	0	0	3	-2

شكل (٢ ــ ــ ٧٤ ب)

ودائماً ما يورد الصانع مع المحرك جهاز القنطرة كما فى الشكل (٢ ــ ٧٥) مختوماً عليه قراءات الارتفاع النسبى لكل كرسى رئيسى مقاساً بالفلر عند بداية بناء المحرك . وتعتبر الزيادة فى هذه القيم هى مقدار السقوط نتيجة البرى الزائد فى الكرسى ، ولكن هذه القراءات غير دقيقة نظراً لانحناء العمود Sag of shaft .

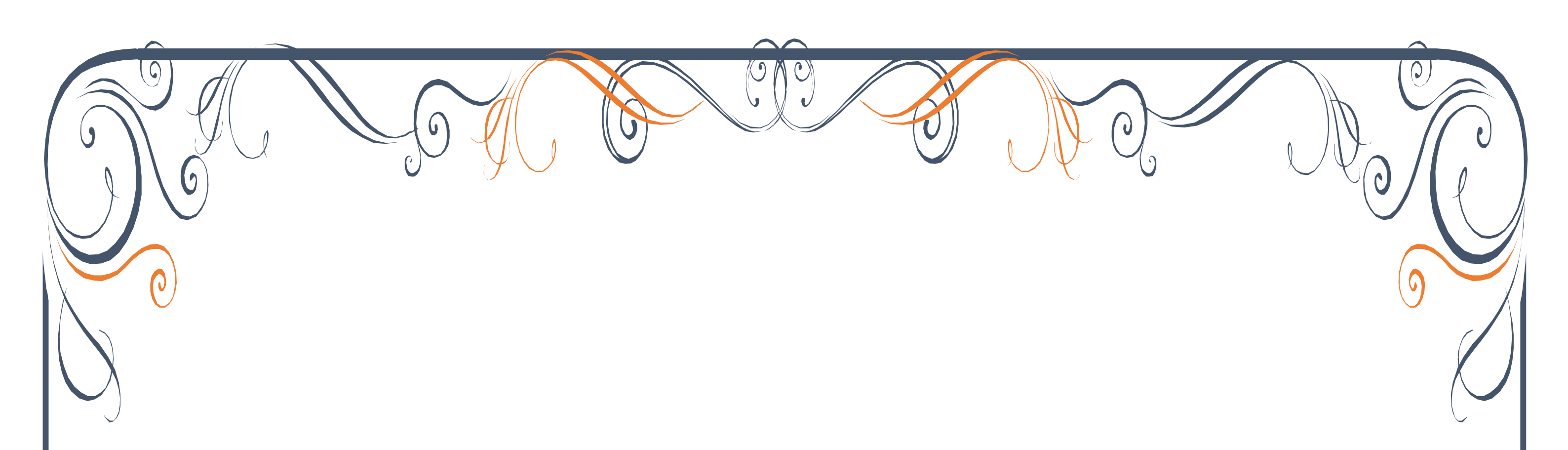


شكل (٢ ـ ٧٥)

٢ ـ ١٠ ـ ٧ : العيوب التى قد تظهر فى أعمدة المرفق

Types of failure in crank shaft

شكل (٢ ـ ٧٦)



١. حدوث شروخ قد تظهر عند نقط الاتصال بين الفخذة والبنز وتستمر فى الفخذ نتيجة اجهاد الثنى المتكرر .
٢. كسرتام فى الفخذ نتيجة الثنى الزائد .
٣. شروخ مائلة بزاوية ٤٥ ° فى البنوز أو المرتكزات نتيجة اجهاد اللى المتكرر
٤. تشققات فى الفخذ نتيجة شحط البنوز فى الأعمدة (النصف جزئيه) .

هذا بالإضافة على أنه قد تتعرض البنوز إلى ظهور البيضاوى أو الخدش أو التآكل فى الأسطح .

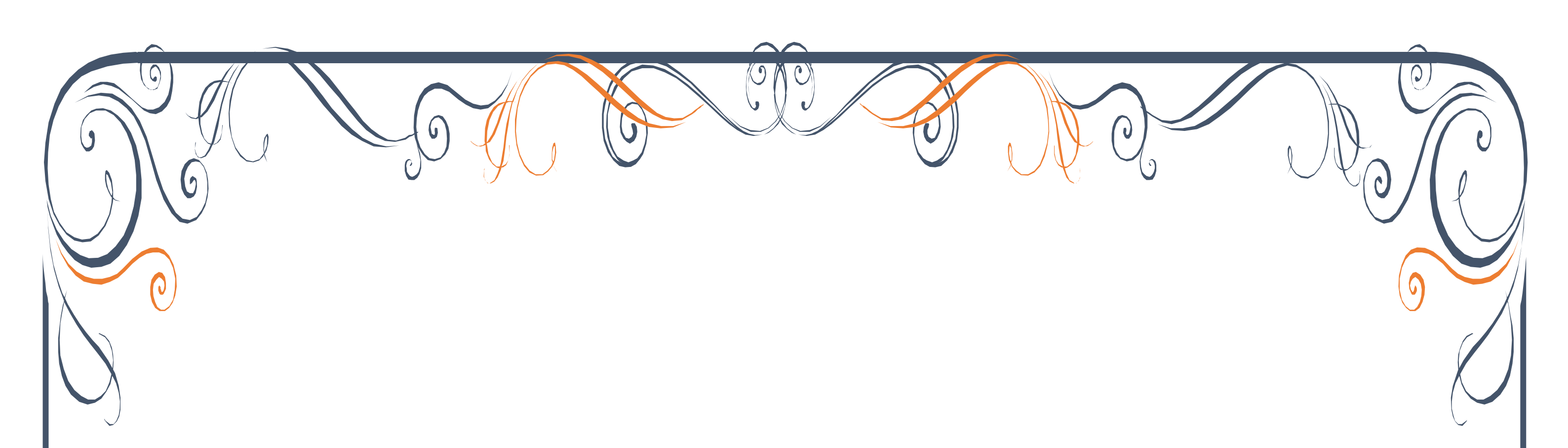
ويمكن تجنب ما سبق باتباع الآتى :

- المراجعة المستمرة للتأكد من استقامة عمود المرفق ،وعدم تعدى الانحراف المسموح به .
- تجنب أسباب البرى الغير متساوى فى المحامل نتيجة (عدم تساوى الأحمال على الوحدات ، اختلاف معدن السبائك ، التزييت الغير سليم من ناحية النوع أو الكمية) .
- عدم تعرض عمود المرفق لذبذبات اللى العالية .
- ضمان عدم حدوث تشوه بالفرش أو حدوث شروخ أسفل المحامل الرئيسية .

٢ ــ ١٠ ــ ٨ : الحدافات Fly-wheels

بوجه عام فإن الغرض من وجود الحدافات فى محركات الديزل هو :

١. تخزين طاقة الحركة أثناء الأشواط الفعالة ، واعطائها أثناء الأشواط الأخرى ، كما تساعد على الحصول على حركة دوران منتظمة لعمود المرفق ، ويعتمد مقدار تلك الطاقة على القصور الذاتى للحدافة أى على قطرها وكتلتها .
٢. يعمل ثقلها على مقاومة نبضات اللى Torsional vibrations .
٣. تحد من تغير سرعة عمود المرفق عند رفع الأحمال عن المحرك وعلى ذلك فإنه كلما زاد وزن الحدافة قل تبعاً لذلك التغير فى سرعة المحرك ، ويظهر التغير بصورة أكبر إذا قل عدد الاسطوانات ويقل كلما زاد عددها , وعلى ذلك فإن حدافات المحرك المتعددة الاسطوانات تكون صغيرة .



٤. تساعد على بدء الحركة Starting بالهواء المضغوط حيث أنها تخزن الطاقة المعطية لها عند فتح صمامات الهواء .

٥. يمكن وضع علامات وتوقيتات الصمامات على الإطار الخارجى للحدافة .

٦. تستخدم كترس تقليب Turning -gear للمحرك .

ويجدر ملاحظة الآتى :

أ- المحركات الرباعية الأشواط تحتاج إلى حدافات أكبر حجماً من تلك المستخدمة فى المحركات الثنائية ذات نفس القدرة .

ب- المحركات التى تعمل على المولدات الكهربية تزود بحدافات أقل وزناً لتقليل معامل عدم الاتزان إلى أقل ما يمكن .

ج- يمكن الاستغناء عن الحدافات فى بعض محركات الديزل البحرية نظراً لأن مجموعة الرفاص تؤدى عملها .

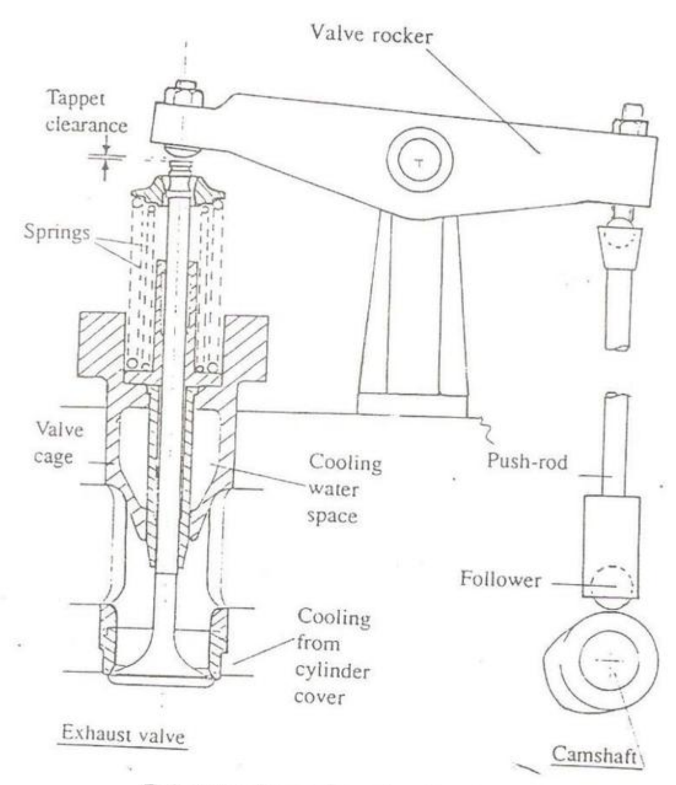
٢ - ١١ الصمامات وطرق تشغيلها

Cylinder-head valves & their drive

تتحكم صمامات الحر فى دخول شحنة الهواء ، وصمامات العادم فى خروج العادم فى جميع المحركات رباعية الأشواط وبعضاً من المحركات الثنائية الأشواط . كما تتحكم صمامات الوقود فى دخول الوقود للاسطوانة ، وصمامات بدء الحركة فى دخول الهواء المضغوط وذلك فى معظم المحركات الكبيرة .

وتستمد الصمامات حركتها من عمود الحدبات Cam-shaft الذى يأخذ حركته من عمود المرفق بواسطة مجموعة تروس Gears أو بواسطة كتينة Chain وتؤثر الحدبة Cam المثبتة فى عمود الحدبات على عمود الدفع Push - rod عاملة على رفعه إلى إعلى حيث ينقل بدوره تأثير الحدبة إلى الذراع المتأرجح Rocker-arm والذى يحول الدفع العلوى للذراع إلى حركة لأسفل الصمام فتفتحه ، وبمجرد ابتعاد بروز الحدبة عن العمود يغلق الصمام بتأثير ياى يعمل على إعادة الصمام إلى قاعدته لغلقه . شكل (٢ ــ ٧٧) .



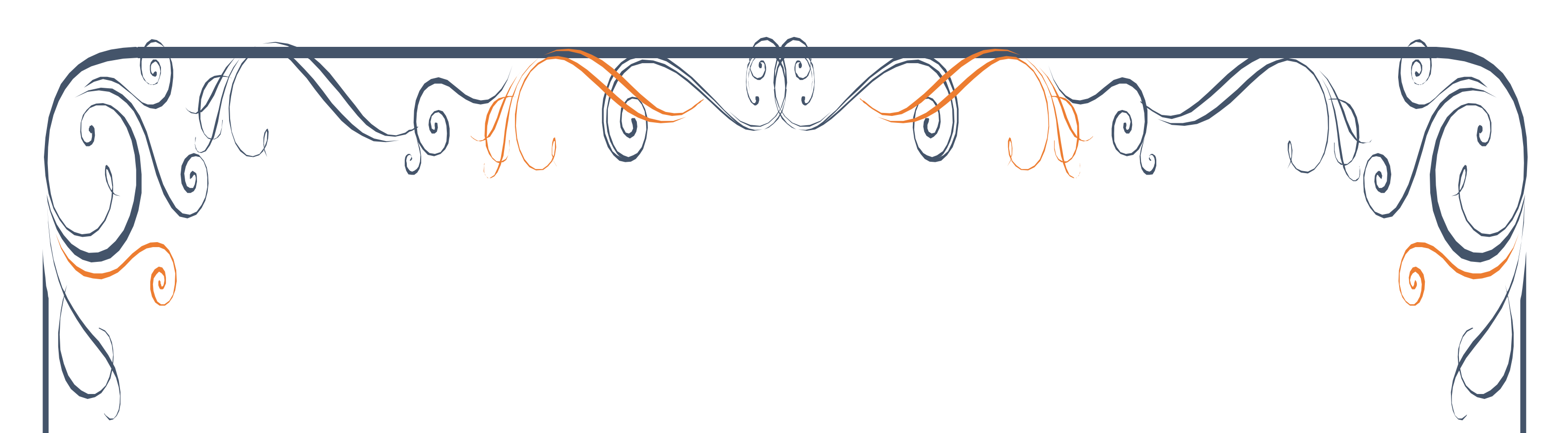


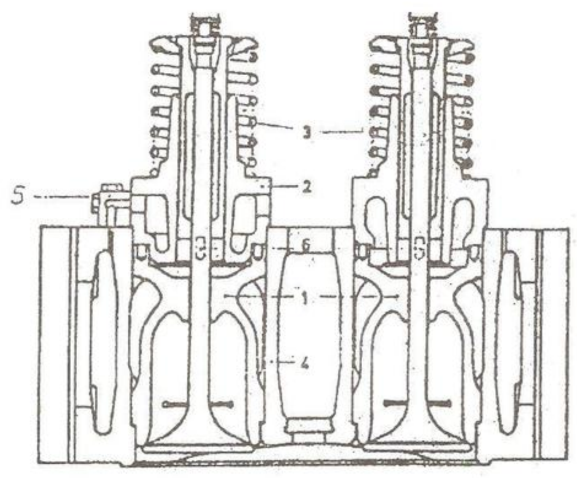
Exhaust valve with pushrod and tappet

شكل (٢ ــ ٧٧)

٢ ــ ١١ ــ ١ : صمامات العادم Exahust valves

شكل (٢ ــ ٧٨) يوضح صمام للحر وآخر لعادم ، ومنه يلاحظ أنه لا اختلاف بينهما ماعدا فى حوارى التبريد لصمام العادم ، ويعتبر هذا ضرورياً حيث أنه يتعرض لظروف تشغيل صعبة ، (حيث تصل درجة حرارة غازات العادم إلى ٥٠٠ ° م) ولذا يجب التخلص من هذه الحرارة أولاً بأول ، وإلا تسببت الحرارة الزائدة فى انبعاج القفص Housing وتآكل الصمام وقاعدته وانحناء العمود .





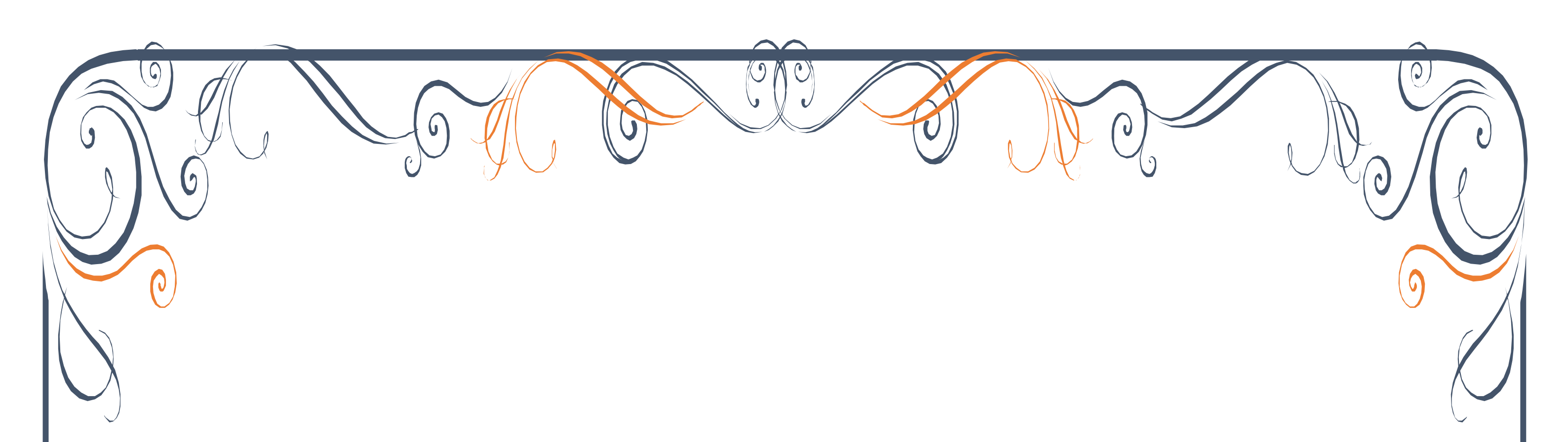
1- Valve body
2- Upper part
3- Springs
4- Cylinder head
5- Cooling water
6- Dowel

شكل (٢ ــ ٧٨)

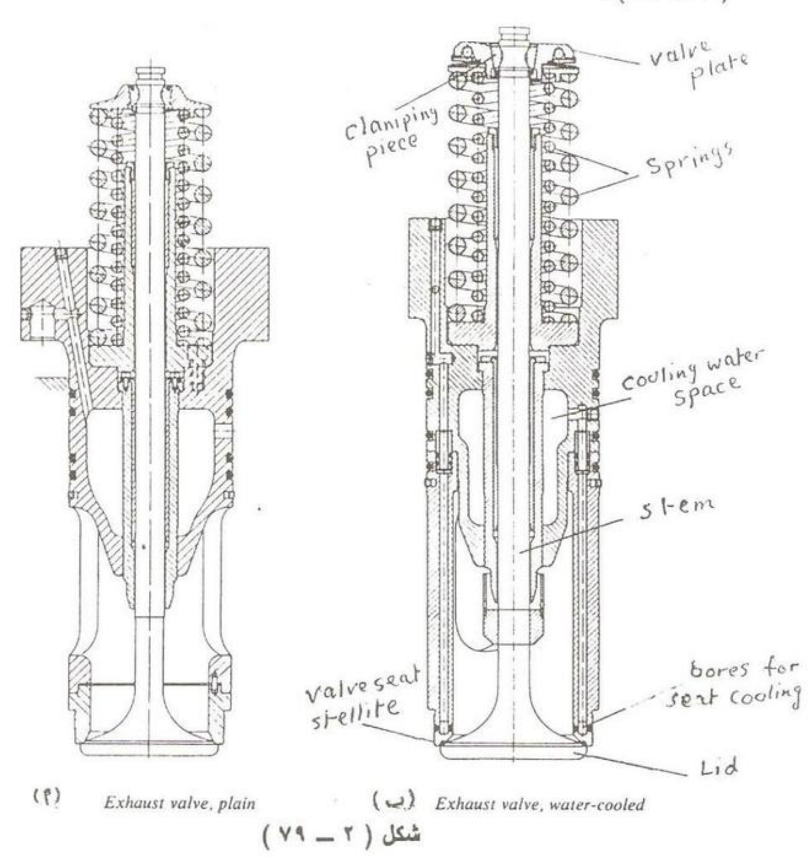
ووجود الصمام داخل قفص خاص تجعله وحده مستقلة يسهل رفعها (أى يسهل عملية الصيانة) وهذا القفص يصنع عادة من الحديد الزهر المتلاصق الحبيبات ، ولكن هذا المعدن غير مناسب للقاعدة التى تتعرض للغازات الساخنة ذات السرعات العالية ، ولذا تثبت حلقة مقعد منفصلة يمكن تجديدها بعد تآكلها ، وتصنع من سبائك الصلب المقاوم للحرارة العالية.

وقد تغطى سطوح التحميل لكل من الصمام ومقعده بطبقة من الستيليت Stellite وهـو سبيكة من الكوبلت والكروم والتنجستن ، وتتميز بمقاومة التآكل والصلابة عنـد درجـات الحرارة العالية .

أما ساق الصمام Spindle فيصنع من سبائك خاصة من الصلب لها قوة شد عاليـة ، حتى يمكنها مقاومة اجهاد الشد الواقع عليها عند الغلق ، وفى الوقـت الحاضـر تتميـز المحركات بالقدرات العالية نتيجة الشحن الزائد ، فتخرج غازات العادم بضغوط ودرجـات حرارة وسرعات عالية مما تسبب النحر Errosion فى الصمام ومقعده ، ولذا فإنها تصنع من سبائك تحتوى على الكربون والسليكون والكروم (سيليكروم) وتتميز أيضاً بمقاومـة الصدمات عند الغلق ، وحديثاً يفضل تصنيع عمود الصمام من معدن Nimonic .



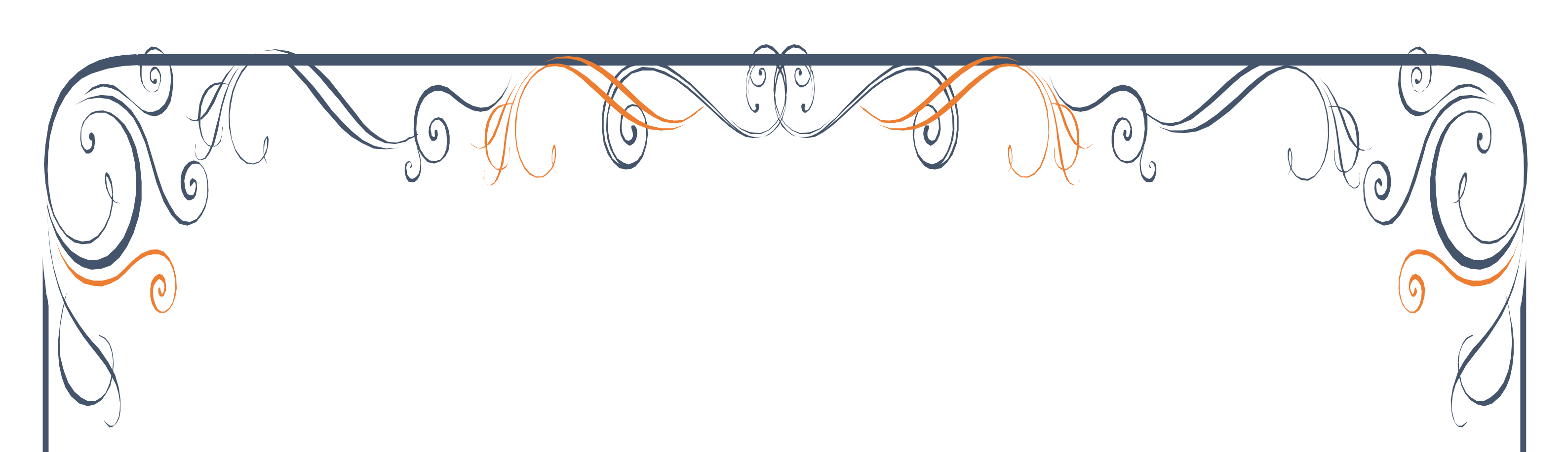
وقد فرق بعض الصناع فى تصميم صمامات العادم تبعاً لنوع الوقود المستخدم شـــكل (٢ ــ ٧٩) .



شكل (٢ ــ ٧٩)

<u>أولاً : عند استخدام الوقود الديزل</u> : يكون الصمام كما هو فى (أ) له حلقة مقعد وجلبه للعمود .

<u>ثانياً : عند استخدام الوقود الثقيل</u> : يكون الصمام كما هو فى (ب) ، ويتميز هذا التصميم بوجود مجرى دائرية بمقعد الصمام لمرور الماء للحصول على التبريد



الجيد للقاعدة ، والاحتفاظ بدرجة الحرارة – بحيث لا تتعدى ٥٠٠° م – وإلا تعرض للتآكل عند درجات الحرارة العالية High-temperature corrosion كما سيتم شرحه فيما بعد .

٢ ـ ١١ ـ ٢ نظرة عابرة عن التصميم Valve design

• يراعى فى تصميم صمام العادم أن تكون مقاومته لسريان غازات العادم أقل ما يمكن وذلك لتلاشى الضغط الخلفى، وللاحتفاظ بجميع الطاقة للشاحن التوربينى .

فتتحدد فتحة الصمام بالسرعة المتوسطة لخروج غاز العادم V_g والتى تحسب كدالة لسرعة المكبس المتوسطة كالتالى :

$$V_g = C_m \cdot \frac{A}{a}$$

Where :

A = Piston area   a = Valve area

C_m = Mean piston speed

a = Valve area

V_g = 50m /s for S.S.E. ,   50 : 60 m/s for M.S.E.,

90 : 100 m/s for H.S.E.

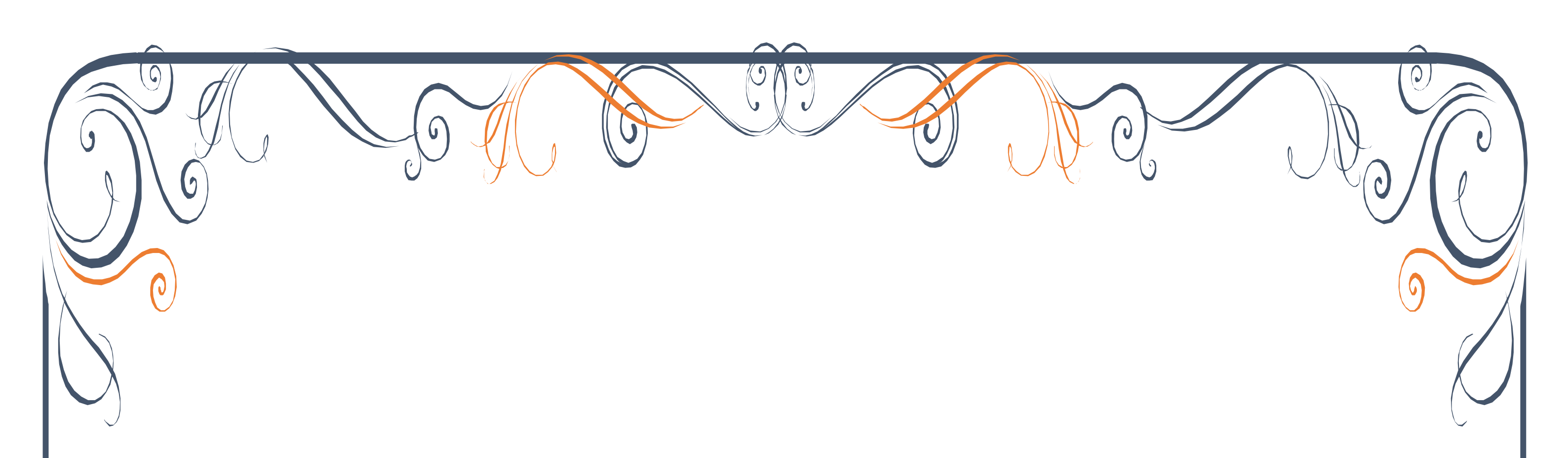
• وتفتح صمامات الحر والعادم عادة إلى داخل غرفة الاحتراق وذلك لضمان احكام الغلق بتأثير الضغط داخل الاسطوانة ، وهذا سوف يعمل على إزالة أى كربون مترسب على المقعد قد يسبب تفويت الغازات الساخنة وحرق الصمام .

خلوص الأصبع الغماز: Tappet clearance

يجب أن يحتفظ بخلوص بين أصبع الذراع المتأرجح والطرف العلوى لعمود الصمام وذلك بغرض :

- السماح بتمدد الصمام عند تعرضه لدرجات الحرارة العالية .
- ضمان قفل الصمام التام على قاعدته .

علماً بأنه يجب الاحتفاظ بقيمة هذا الخلوص بحيث لا تزيد ولا تنقص عن قيمة محددة ،



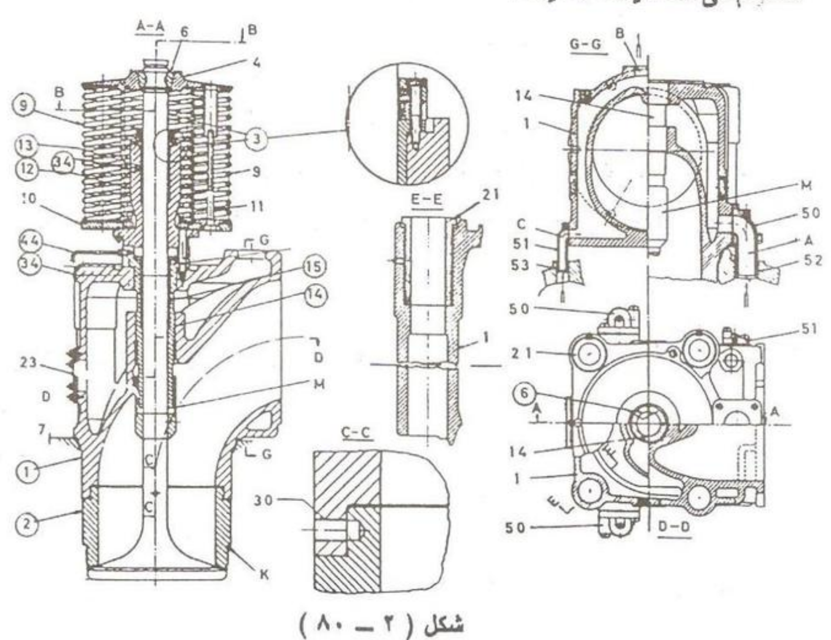
ويؤخذ هذا الخلوص والمحرك بارد وبروز الحدبة بعيد عن ذراع الدفع ويحدد الصانع عادة الخلوصات المناسبة .

وليكن معلوماً أن الخلوص الزائد يؤدى إلى فتح الصمام متأخراً ويقفل مبكراً ، ويقلـل مقدار الفتحة نفسها ، ويعمل ضوضاء واحتمال تلف سطح القاعدة من الصدمات .

أما إذا قل الخلوص فيفتح الصمام مبكراً ويقفل متأخراً مع زيادة مقدار الفتحة ولا يقفل الصمام تماماً ، ويتعرض الساق للثنى فيعمل على تهريب الضغط داخل الاسـطوانة وتقـل القدرة ويحترق الصمام ومقعده .

٢ ــ ١١ ــ ٣ صمام العادم للمحرك Poppet exhaust valve B&W

معظم المتاعب التى يتعرض لها المحرك B&W تنحصر فى صمام العادم ، وبـالرغم من أن المصمم اتخذ جميع السبل لتلافيها ، إلا أنه ما زالت توجد بعض الصعوبات والتـى تتطلب اتباع الصيانة السليمة فى مواعيدها . والشكل (٢ ــ ٨٠) يوضح الأجزاء المختلفة للصمام فى التصميمات القديمة .



شكل (٢ ــ ٨٠)

نسألكم من صالح الدعاء



١ ــ قفص الصمام ومصنع من الحديد الزهر ويبرد بالماء .

٢ ــ مقعد الصمام من سبائك الصلب ذات المقاومة لدرجات الحرارة العاليــة والتآكــل ويمكن أن تعمل إلى ٨٠٠٠ ساعة بدون تجليخ .

٣ ــ صندوق حشو مانع Stuffing box

٦ ــ حافظة Conical lock

٩ ــ يايات الصمام Six springs

١٢ ، ١٤ ــ أدلة Guides

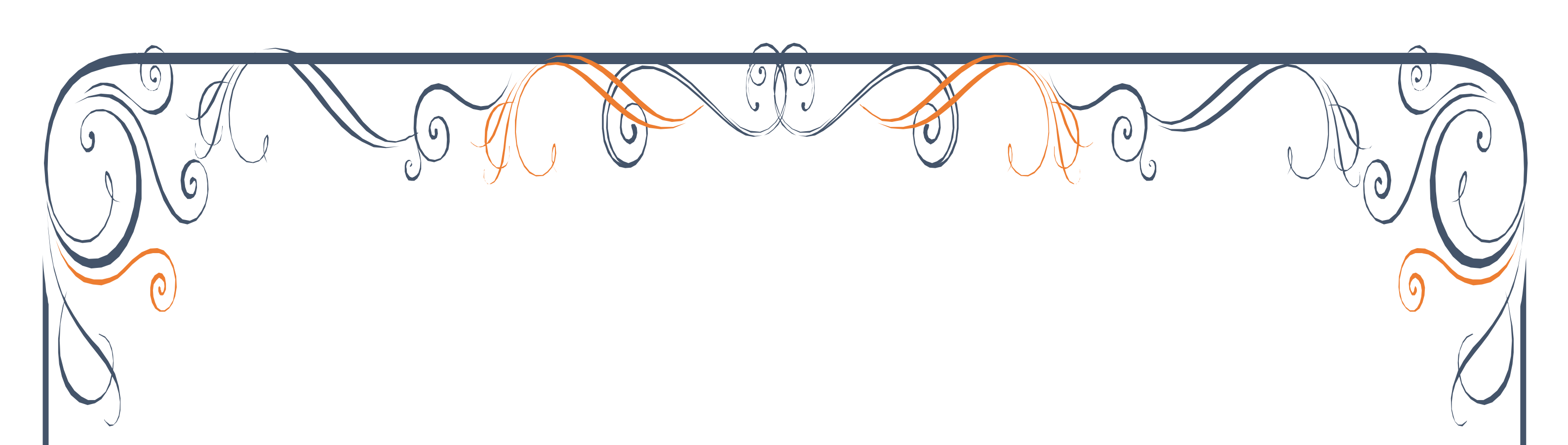
١٣ ، ١٥ ــ جلب من النحاس Wearing bushes

٣٤ ــ تزييت الجلبة بالحقن

٤٤ ــ حاكم هوائى من الكسح للمحافظة على طبقة الزيت sealing air ، M موجه على الساق لابعاد غازات العادم .

شكل (٢ ــ ٨١)

صمام العادم الهيدروليكي



وقد فضل أن يعمل هذا الصمام هيدروليكياً كما هو واضح فى الشكل (٢ ــ ٨١).وتتكون المنظومة من طلمبة تعمل بكباس تأخذ حركتها من حدبة على عمود الحدبات ، وينتقل الزيت بماسورة إلى اسطوانة التشغيل المثبتة على قفص الصمام ، وضغط الزيت حوالى ٢٠٠ كجم / سم٢ ، وقد روعى فى التصميم قوة الاحتمال ، وسهولة الصيانة ، وصغر الحجم والوزن عن النظم المعتادة .

وهذا التصميم له عدة مزايا :

- تقليل الوزن
- يساعد المصمم بأن يضع عمود الكامات فى أنسب وضع .
- يقلل من القدرة المستهلكة والفقد فى نقل الحركة .
- يلغى قوة الدفع الجانبى على عمود الصمام والذبذبة .

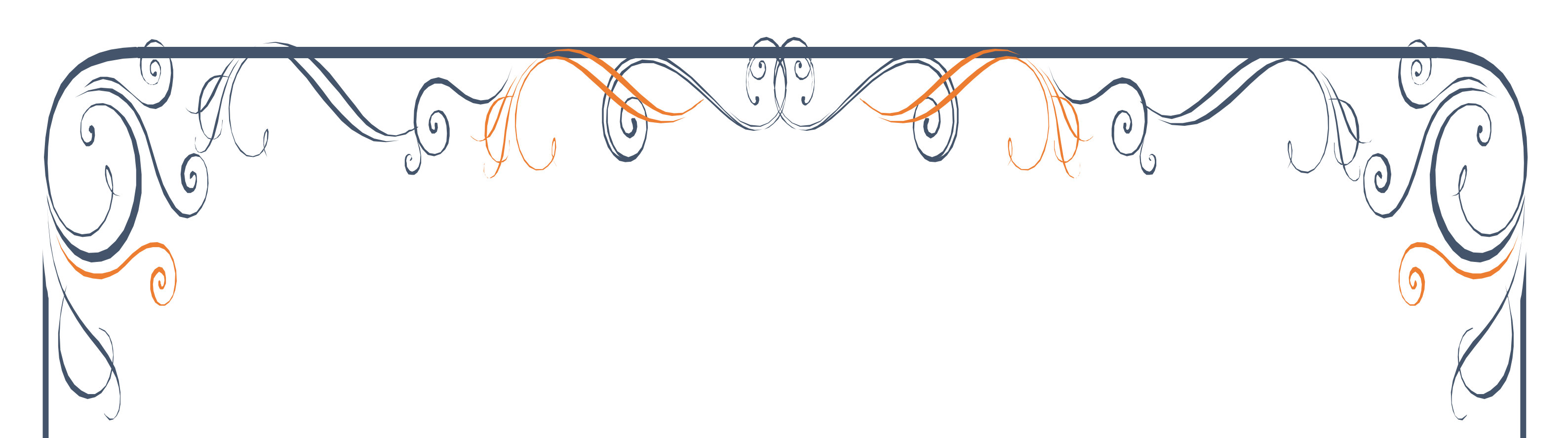
٢ ــ ١١ ــ ٤ التصميم الحديث لصمام العادم للمحرك RTA أو L – MC

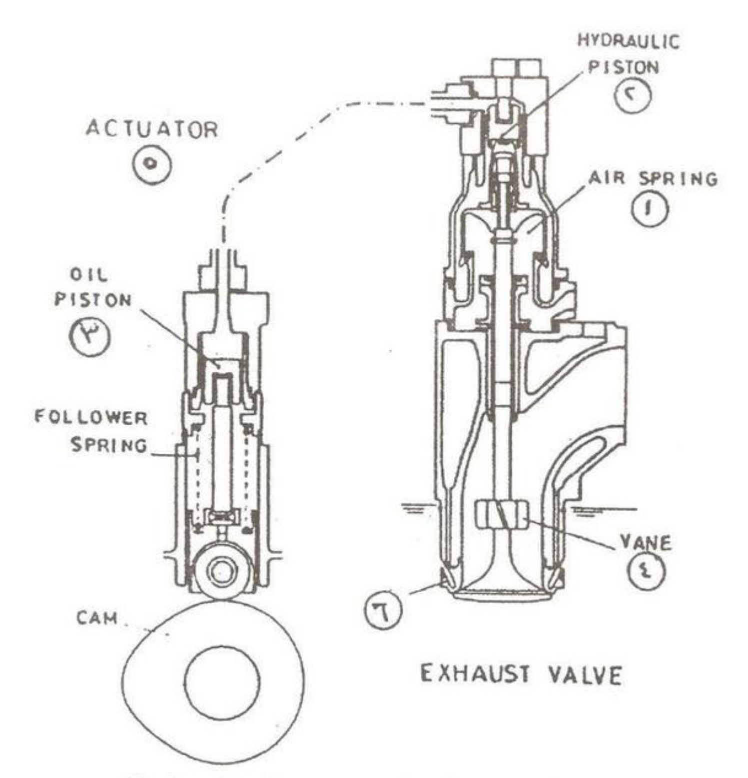
New design of exhaust valves for B&W and Sulzer engines

تعتبر صمامات العادم من أهم أجزاء محركات الديزل التى تعمل بطريقة الكسح الطولى ، ولذلك فإنها نالت اهتمام كبير من المنتجين وقد ظهر هذا فى أحدث محركات شركة ' سولزر ' RTA engine وأحدث محركات شركة M.A.N B& W والشكل (٢ ــ ٨٢) لصمام عادم محرك RTA 58 ويتكون من :

١ ــ كباس للهواء . ٢ ــ كباس لفتح الصمام هيدروليكياً .
٣ ــ كباس الزيت . ٤ ــ ريش لدوران الصمام .
٥ ــ زيت التشغيل . ٦ ــ قاعدة الصمام المبردة .

ويلاحظ أنه تم الاستغناء عن الياى الصلب بكباس الهواء (١) ويتميز هذا الصمام بإمكانية دوران عمودة على قاعدته بواسطة ريش Vanes ويتم فتح الصمام هيدروليكياً بضغط الزيت على الكباس (٢) حيث ينضغط الهواء الموجود بأسفل كباس الهواء وهذا الضغط يعمل على قفل الصمام طبقاً لوضع الكامة .





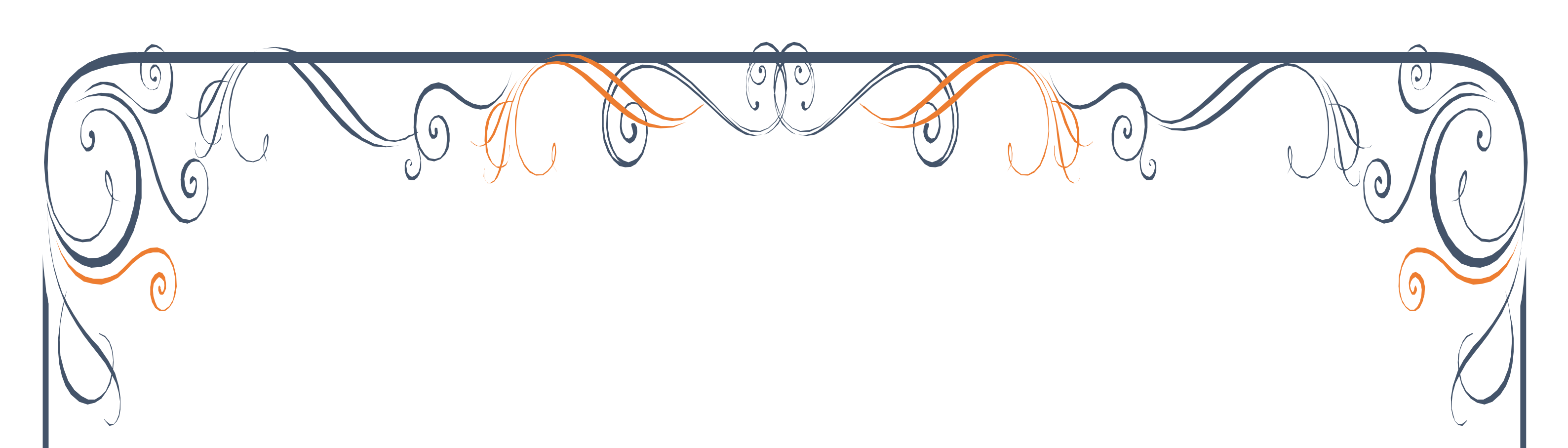
Hydraulically operated exhaust valve (Sulzer)

شكل (٢ ــ ٨٢)

ويلاحظ أنه قبل بدء حركة المحرك يجب إمداد الهواء بعد تخفيض ضغطه بحيث يكــون ضغط الهواء تحت الكباس ٥ بار .

ولإطالة فترة تشغيل الصمام ، روعى خفض درجة حرارة قاعدته ، وذلك بعمل ثقــوب تبريد خاصة Bore-cooled ، وبهذا التصــــميم المميز تم التخلص من احتمال كسر الياى الصلب وتآكل عمود الصمام ، هذا علاوة على تقليل الذبذبات إلى أقل ما يمكن .

ويمكن دوران عمود الصمام بتثبيت ريش خاصة علية ، في طريق غازات العادم .



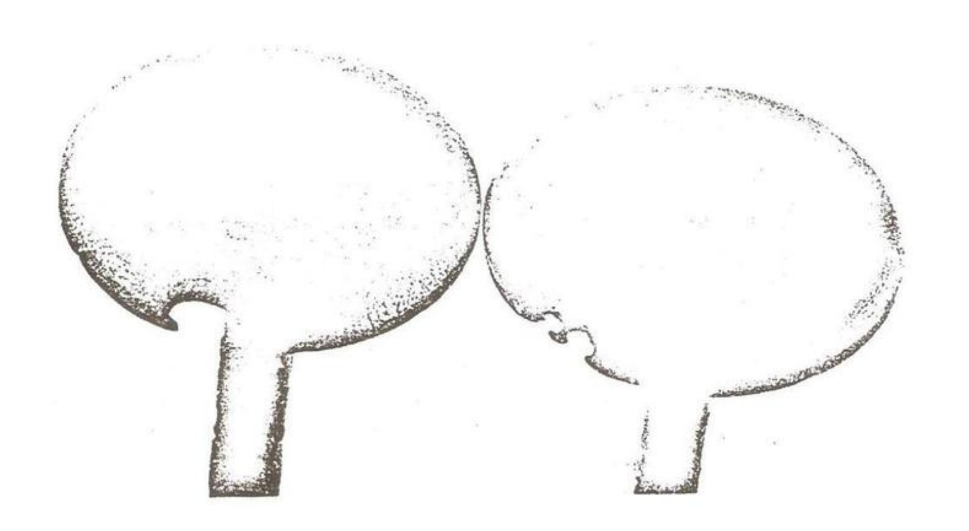
٢ ـ ١١ ـ ٥ انهيار صمامات العادم Exhaust valves failure

يعزى انهيار صمام العادم إلى سبب أو أكثر من الأسباب التالية :

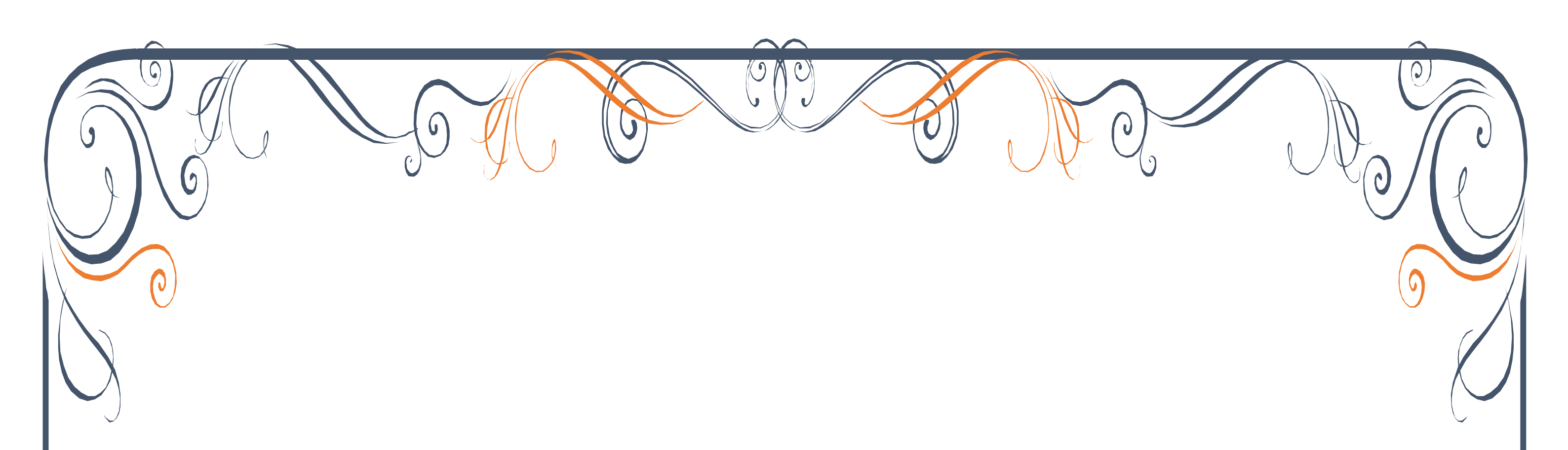
١. ارتفاع درجة حرارة غازات العادم عن معدلها ، نتيجة اختلاف توقيت الحقن او ضعف التبريد فيؤدى إلى انبعاج Distorsion طبق أو مقعد الصمام .

٢. عدم جلوس الصمام تماماً على مقعده بسبب انحناء بسيط فى الساق بسبب صغر خلوص التمدد أو عدم حركة العمود Jamming نتيجة التزييت الغير كاف أو حرق طبقة الزيت .

٣. ربما يبدأ تلف الصمام بتواجد ذرات صلبة بين سطحى الصمام والمقعد،وبتكرار دق Hammering الصمام على المقعد تدفن هذه الذرات الصلبة فى سطح المقعد أو طبق الصمام مسببة شروخ سطحية . ونتيجة للاحتراق وزيادة ضغط ودرجات حرارة غازات العادم تحاول الغازات اختراق هذه الشروخ فاتحة مجرى لها ، وتسمى Wire-drawing effect وتسبب ارتفاع درجة الحرارة وزيادة النحر Errosion وتلف الصمام تماماً فى وقت قصير شكل (٢ ـ ٨٣) .



شكل (٢ ـ ٨٣)



٤. يحدث تفاعل كيميائى بين سبائك الصلب (المصنع منها الصمام والمقعد) والمركب المعدنى الذى يحتوى على الفانديوم بنتاكسيد Vanedum penta Oxide وكلوريد الصوديوم Sodium cloride والمتكون نتيجة احتراق الوقود الثقيل مسبباً تآكل سطحى الصمام والقاعدة عند درجات الحرارة التى تزيد عن ٥٥٠ ° م High-temperature corrosion ، وقد أورت الخبرة العملية بانه لا يحدث هذا التفاعل عند الاحتفاظ بدرجة الحرارة أقل من ٥٥٠° م وهذا يعنى ضرورة الاهتمام بالتبريد .

٥. عند التشغيل على الأحمال المنخفضة لمدد طويلة ، يتعرض ساق الصمام والجلبة للتآكل نتيجة أكاسيد الكبريت التى تتواجد عند حرق الوقود الثقيل ومهاجمة حامض الكبريتيك المتكون للأجزاء Low-temperature corrosion .

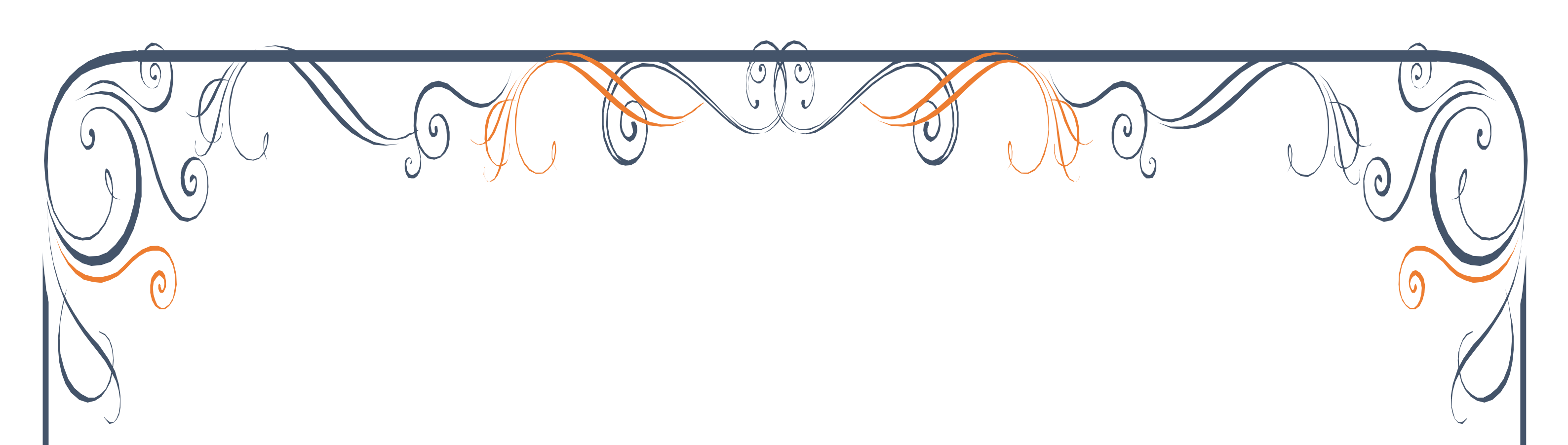
ملحوظة :

إن أول مؤشر لعدم احكام صمام العادم ، هو ارتفاع درجة حرارة العادم وظهور شرر بالمدخنة .

٢ ــ ١١ ــ ٥ كيفية زيادة مدة عمل الصمام Prolong exhaust - valve life

لاطالة مدة عمل صمام العإم تراعى النقاط التالية من وجهتى نظر التصميم والتشغيل :

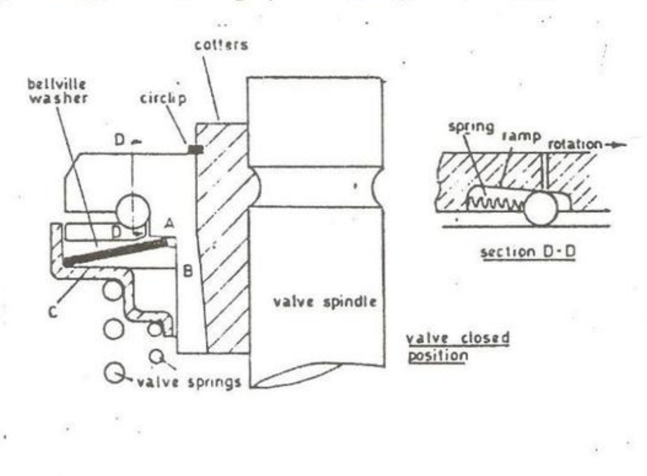
١. جعل الصمام وحدة مستقلة فى قفص منفصل ويشتمل على المقعد , وذلك لسهولة الصيانة .
٢. مراعاة البساطة لسهولة فك الوصلات المؤدية للصمام مثل وصلة التبريد والعادم .
٣. اختيار المعدن المناسب لتصنيع الساق والمقعد ، ويكون مقعد الصمام من حلقة منفصلة من معدن مقاوم للنحر والتآكل .
٤. مراعاة خلوصات التمدد والخلوص بين الساق والجلبة .
٥. التزييت الكفء لساق الصمام لتجنب عدم الحركة Seizure
٦. عدم زيادة تزييت الاسطوانة حتى لا يتصاعد الزيت إلى غرفة الاحتراق ويستقر على سطح الصمام .
٧. مراعاة توقيت الحقن الصحيح لعدم إرتفاع درجة حرارة العادم .

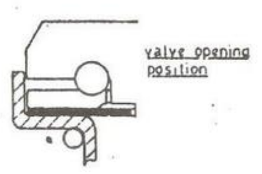


٧. تشغيل المنقيات بالكفاءة العالية ، لتنقية الوقود من الشوائب الصلبة .

٨. خفض درجة حرارة الصمام أثناء التشغيل وذلك بمراعاة التالى :

- زيادة فترة الكسح أو فترة التداخل Overlap_period
- زيادة كفاءة التبريد حول الصمام ومقعده .
- إدارة الصمام على المقعد بواسطة Rota-cap شكل (٢ ــ ٨٤) أو الريش المثبتة على عمود الصمام فى المحركات الكبيرة كما سبق ذكره .



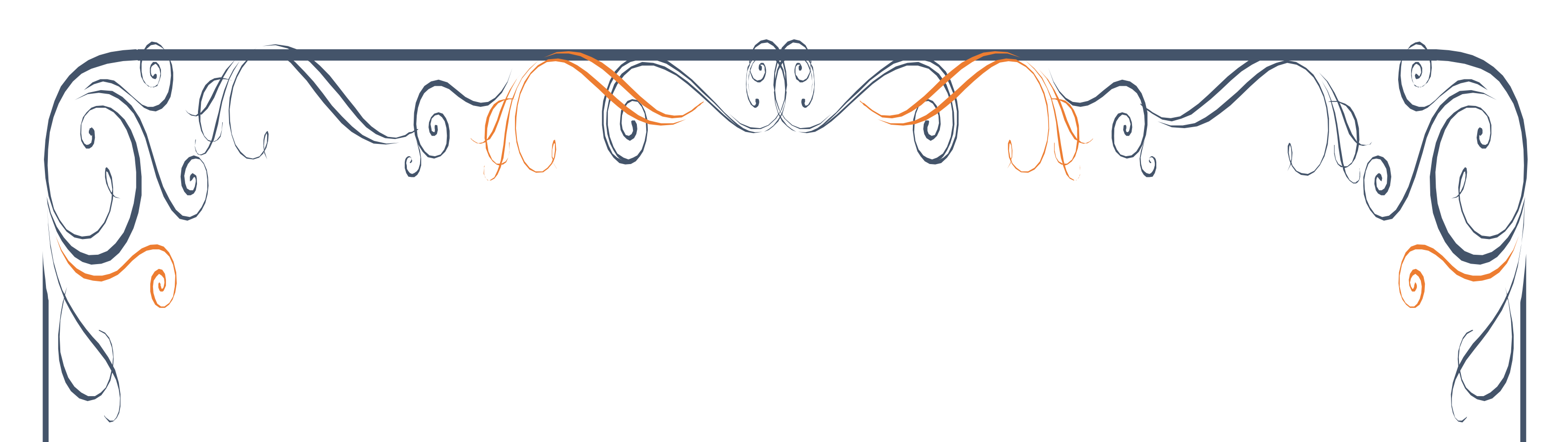


"ROTOCAP"

شكل (٢ ــ ٨٤)

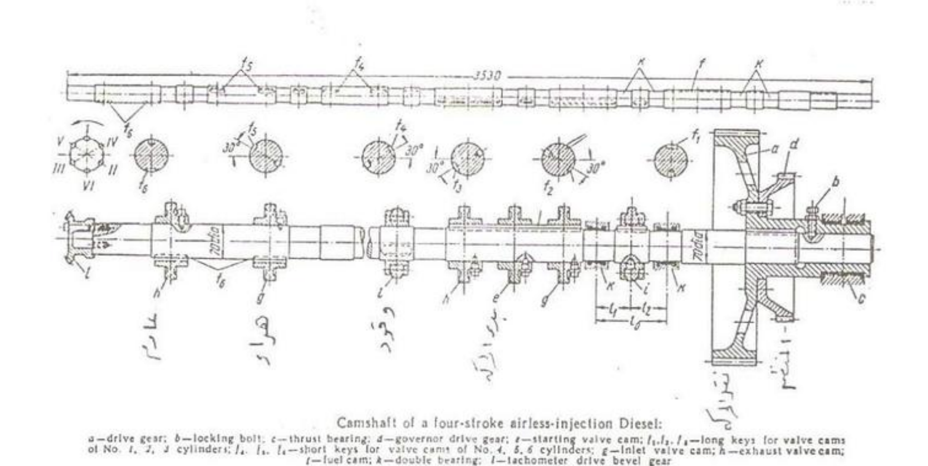
٢ ــ ١١ ــ ٦ : عمود الحدبات Cam shaft

يحتوى عمود الحدبات على مجموعة الحدبات Cams التى تشغل صمامات العادم فى المحركات رباعية الأشواط ، وقد يشغل مضخات حقن الوقود وصمامات بدء الحر



الحركة ، شكل (٢ ــ ٨٥) . ويصنع عمود الحدبات بطرق متعددة ، فيصنع فى المحركات الصغيرة مع حدباته من قطعة واحدة بواسطة الطرق . أو يصنع العمود من قطع منفصلة يختص كل منها بمجموعة اسطوانات ثم تربط مع بعضها لتكون عموداً واحداً ، وتصنع أحياناً الحدبات منفصلة وتثبت على العمود بواسطة صواميل وخوابير . وفى بعض الأحيان تصنع الكامات منفصلة عن العمود وبها فتحات ذات ميل ضعيف ومزودة بمجرى ، ويكون العمود بنفس هذا الميل و يتم انزلاق الكامة على العمود إلى مكان تثبيتها ، وتوصل المضخة الهيدروليكية إلى هذا المجرى ، فيعمل الضغط الهيدروليكى على تمدد الكامة مما يسمح بدوارنها لضبط الوضع الزاوى والخطى بالنسبة للعمود ، وباتمام ذلك ورفع المضخة يكون تثبيت الكامة فى مكانها كافياً لسلامة التشغيل .

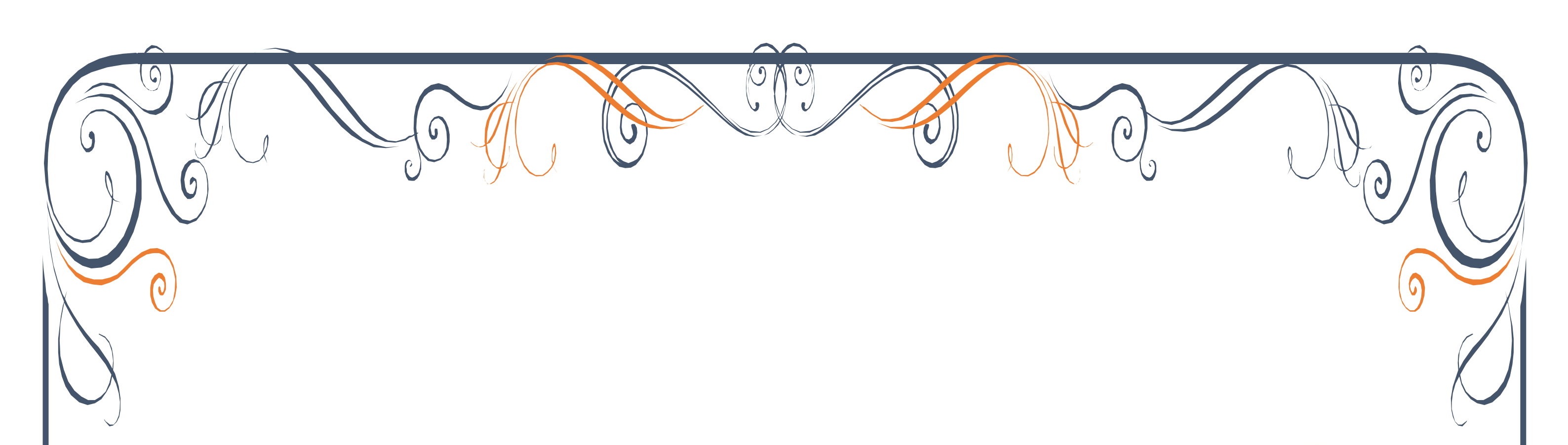
ويجب التأكد دائماً من ثبات وضع عمود الحدبات فى المحرك،ولذا فهو يحمل عادة على سلسلة من الكراسى بحيث يوضع كرسى بين كل اسطوانتين .



Camshaft of a four-stroke airless-injection Diesel:
a—drive gear; b—locking bolt; c—thrust bearing; d—governor drive gear; e—starting valve cam; f_1, f_2, f_3—long keys for valve cams of No. 1, 2, 3 cylinders; f_4, f_5, f_6—short keys for valve cams of No. 4, 5, 6 cylinders; g—inlet valve cam; h—exhaust valve cam; i—fuel cam; k—double bearing; l—tachometer drive bevel gear

شكل (٢ ــ ٨٥)

وفى بعض المحركات البحرية التى تعكس حركتها Reversiable engine يتواجد على عمود الحدبات ضعف عدد الحدبات المطلوبة بحيث يوجد إلى جوار كل حدبة ، أخرى تماثلها تماماً ولكنها على زاوية أخرى . وفى البعض الآخر توجد حدبة واحدة لكل اسطوانة



تعمل فى حالتى الأمام A head والخلف A stern بواسطة المؤازر Servomotor وتسمى هذه الطريقة ــ الحركة المفقودة Lost motion .

والنسبة بين سرعة عمود الحدبات إلى سرعة عمود المرفق هى ١ : ٢ فى المحركات الرباعية الأ شواط ، أى أنه إذا أتم عمود الحدبات دورة واحدة يكون عمود المرفق قد أتم دورتين كاملتين . أما فى المحركات ثنائية الأشواط فتتساوى سرعتى كل من عمود المرفق وعمود الحدبات .

ويجب المحافظة على هذه النسب بين السرعتين ، ولذا فإن نقل الحركة بينهما يكون نقلاً إيجابياً مؤكداً ، ويتم ذلك إما بواسطة التروس Gear أو بواسطة الكاتينة Chain وطبقاً لتصميمات مختلفة تعتمد أساساً على موضع عمود الحدبات بالنسبة لعمود المرفق .

وشكل (٢ ــ ٨٦ أ) يوضح نقل الحركة بواسطة التروس فى محرك سولزر ، ويوجد عمود الحدبات فى مستوى كتلة الاسطوانات ، ويلاحظ أن التروس الموجودة على عمود المرفق مكونة من نصفين ولكن الأخري من قطعة واحدة ، يتم تزييت المجموعة من دائرة التزييت ذات الضغط الواطى .

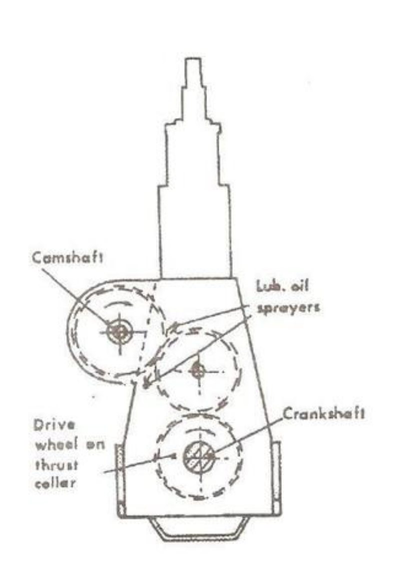
ويوضح شكل (٢ ــ ٨٦ ب) نقل الحركة بواسطة الكتينة فى محرك B&W وتقوم الكتينة الرئيسية بنقل الحركة لعمود الكامات الذى يشغل صمامات العادم ومضخات حقن الوقود .

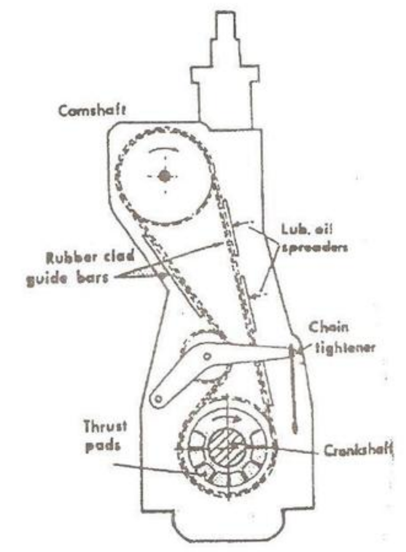
ومزايا نقل الحركة من عود المرفق إلى عمود الكامات بالكتينة هى :

١. سهولة نقل الحركة بغض النظر عن بعد المسافة .
٢. ذات عرض محدود فلا تزيد من طول المحرك إلا قليلا .
٣. تعتبر طريقة مرنة لنقل الحركة .
٤. أخف وزناً وأقل فقداً نتيجة الاحتكاك كما تتمتع بالمتانة الكافية .
٥. إمكانية تثبيت طارات إدارة أخرى مساعدة تدور بسرعات مختلفة أو فى اتجاه عكسى . شكل (٣ - ٨٧ ب)

وتحتاج الكتينة إلى فحص وصيانة دورية للتأكد من مقدار النحر فى محامل الطارات أو فى أسنانها أو حل زرجنة أحد العقل أو الكشف على أى شروخ نتيجة الكلال ، وكذلك ضبط الشد بحيث لا تزيد الحركة العرضية عن خطوة العقلة،ويتم ذلك بواسطة طارة وسيطة ذات محور متغير كما يتضح فى الشكل .







Gearwheels　　Roller Chains

Camshaft drive systems.

(أ)　　(ب)

شكل (٢ ــ ٨٦)

ويجب معرفة أن الشد الزائد ينتج عنه أحمال إضافية قد تؤدى إلى قطع الكتينة أو ظهور شرارة ، وأن الشد الناقص يؤدى إلى ظهور اهتزازات زائدة واختلاف فى التوقيت .

وللكتينة معامن أمان عالى لمنع الاستطالة نتيجة النحر ، ولكن يتحدد عمرها بـــ ١٥ عام بغض النظر عن مقدار النحر الذى حدث .

وتتكون الكتينة كما فى الشكل (٢ ــ ٨٧ أ) من مجموعة من العقل كل يتكون من :

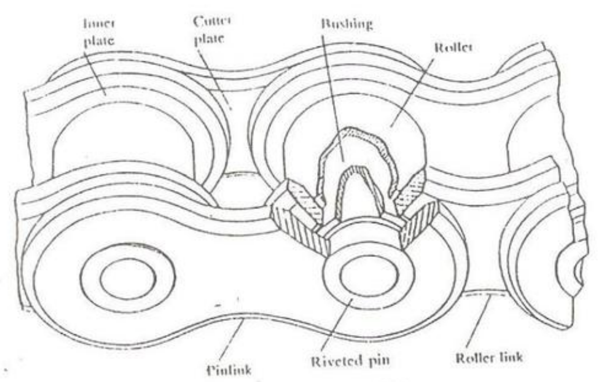
ــ البنز revited pin (15) .

ــ لوحين خارجيين pin-link متصلين بالبنز بالبرشام (11) .

ــ لوحين داخليين roller links يمكنهما الدوران حول الجلبة (12) .

ــ درفيل(٤) roller يدور على الجلبة (14) .





Camshaft roller chain

11. Pin link
12. Roller link
13. Roller
14. Bushing
15. Riveted Pin

شكل (٢ ــ ٨٧ أ)

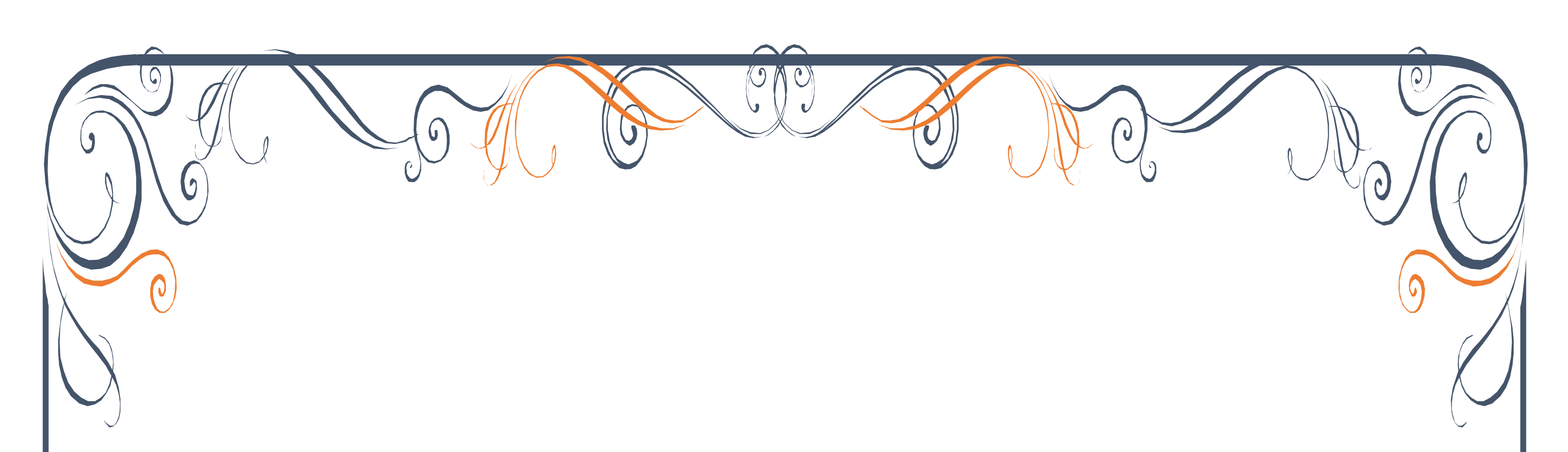
وقد يرجع سبب سبب الاستطالة أو الارتخاء إلى :

ــ نحر بين البنز والجلبة .

ــ نحر بين الجلبة والدرفيل .

ــ نحر بين الدرفيل وأسنان الطارة .

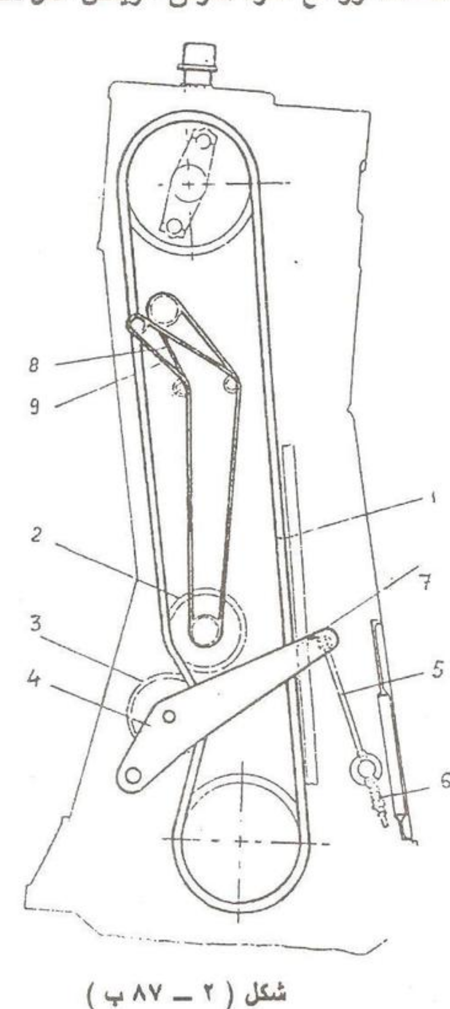
ويجب تغيير الكتينة إذا وصلت نسبة الاستطالة إلى الطول الأصلى إلى ٢ % ، .



وإذا وصلت الاستطالة إلى طول عقلتين ، يمكن تقصيرها برفع عقلتين وضم النهايتين ، وفى هذه الحالة يشترط تركيب بنز جديد . وبعد إعادة الشد يجب مراجعة توقيت عمود الكامات ، وإذا وجد التوقيت غير صحيح يحل على طارة flange عمود الكامات ويعدل وضعه بحيث يحدث تزامن بين توقيت الكامات ووضع عمود المرفق . ويمكن عمل ذلك بوضع إحدى الوحدات فى النهاية العلوية أو عن طريق علامات على الحدافة . بعد أداء عملية الضبط تعاد الطارة إلى العمود ويتم تثبيتها .

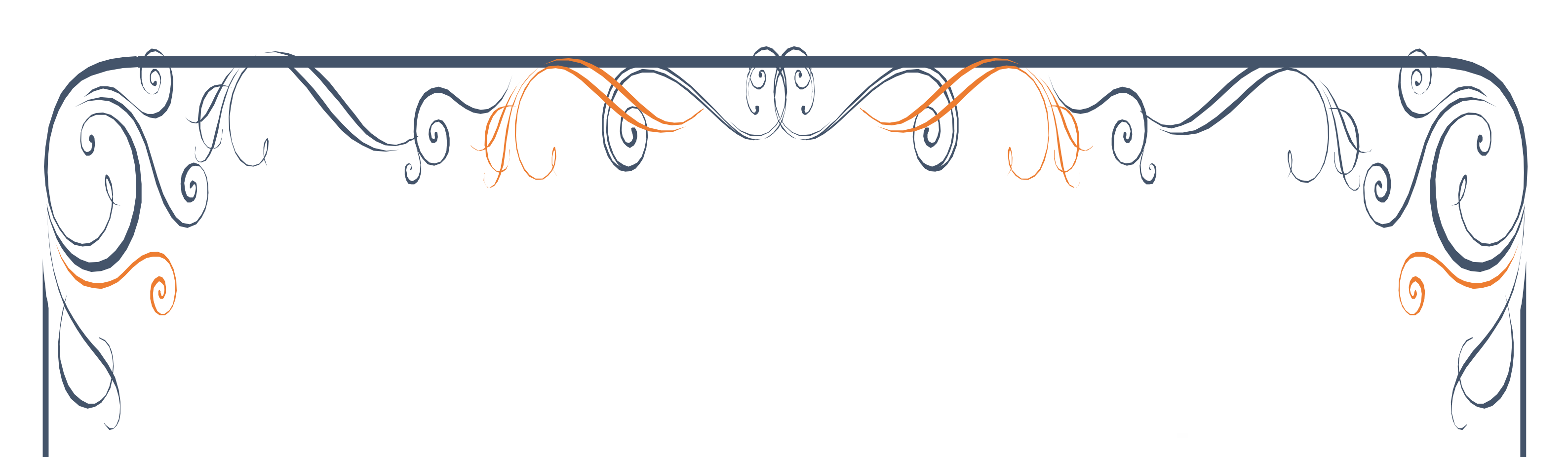
ويتم التزييت بواسطة رشاشات حيث يعمل أيضاً على التبريد واخماد صدمات القوى المتقلبة .

أما الشكل (٢ ــ ٨٧ ب) فيوضح وجود كتينتين إضافيتين علاوة على الرئيسية . الأولى لتشغيل مزيتة الأذرع الهزازة ومزايت الاسطوانات ، وموزع الهواء ، وجهاز قياس سرعة الدوران tachometer ، أما الثانية فتقوم بتشغيل المنظم governor .



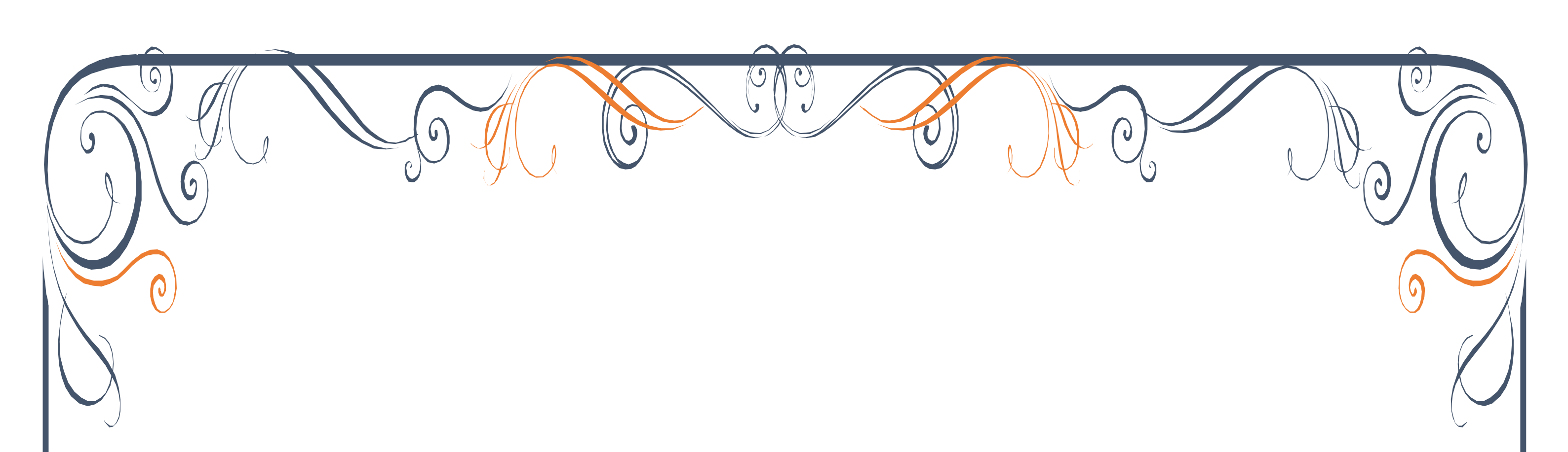
شكل (٢ ــ ٨٧ ب)

1. Main chain
2. Idler wheel
3. Tightening wheel
4. Tightening arm
5. Threaded spindle
6. Loading spring
7. Rubber clad guide bars
8. Aux. drive for: rocker arm, cyl. lubricators, tachometer gen. starting air distributor.
9. Aux. drive for engine governor.



أسـئلة

١. ناقش مزايا وعيوب استخدام المحركات الرباعية الأشواط على المحركات الثنائية فـى المجال البحرى ؟
٢. ارسم تخطيطياً مقطع فى محرك ديزل ثنائى الأشواط ، وبين عليه الأجزاء الرئيسية ؟
٣. يعتبر الفرش من أهم أجزاء المحرك الديزل . ارسم تخطيطياً لفرش محرك ثنائى حديث ، وبين طريق تصنيعه والمعادن المستخدمة . ما هى طريقة تثبيت الفرش على القاع المزدوج ؟
٤. أذكر كيف يمكن الكشف على أحد المحامل الرئيسية ، ومـا هـى العيـوب المحتمـل وجودها ـ كيف يمكن اخراج النصف السفلى ؟
٥. أوصف مستعيناً بالرسم كيف يمكن قياس البرى فى جلبة الاسطوانة . وضـح مبينـاً الأسباب والموضع الذى تتوقع فيه أكثر مقدار من البرى ؟
٦. بين الأسباب التى تحدد أقصى برى مسموح به فى جلبة الاسطوانه ، اذكـر النتـائج المترتبة على تجاوز الحد المسموح للبرى .
٧. أ ـ صف مع الرسم التخطيطى قميص أسطوانة ماكينة رئيسية ثنائية الأشواط .
ب ـ أشرح كيفية تزييت الاسطوانة .
٨. إذا لزم عمل صيانة لرأس اسطوانة المحرك الديزل الرئيسى :
أ) اكتب بالتفصيل الخطوات الواجب اتباعها .
ب) ما هى الاختبارات التى تجرى على رأس الاسطوانة .
ج) اذكر أسباب حدوث الشروخ فى رأس الاسطوانة وأماكنها .
د) يوجد على رأس رأس الأسطوانه صمام خاص بمطالـب السـلامة ، ارسـم تخطيطياً لهذا الصمام واوصف طريقة عمله .
٩. صف مع الرسم مكبس محرك رئيسى ذات رأس انزلاق ، ما هى المعادن المصنع منها هذا المكبس ، لماذا يتحتم تبريد مثل هذا المكبس وكيف يتم ذلك ؟



١٠.اذكر الأسباب المؤدية إلى ارتفاع درجة حرارة المكبس ، ما هى الدلائل على حـدوث ذلك ؟ وما هو الإجراء السريع الواجب اتخاذه ؟

١١.أوصف مع الرسم تخطيطياً كيف يبرد مكبس محرك ديزل كبير ، ناقش مزايا وعيـوب وسط التبريد المستخدم . ما هو الاجراء اللازم اتخاذه عند ارتفاع درجة حرارة مكبس إحدى الوحدات ؟

١٢.إذا استخدم المكبس المصنع من سبائك الألمونيوم فى إحدى المحركات ، ناقش الآتى :

المزايا – الخلوصات – التزييت – التبريد .

١٣.ماهى المعادن المستخدمة فى تصنيع حلقات المكابس وطرق التصنيع . أذكر التـأثير على المحرك إذا عمل بشنبر أو أكثر مكسور .

١٤.لماذا يفضل عزل حيز الاسطوانات عن حيز صندوق المرفق فى المحركات الكبيرة ذات رؤوس الانزلاق وكيف يمكن تنفيذها ؟ اشرح مع الاستعانة بالرسم ، واوصف الصيانة اللازمة وما هو تأثير عدم اتباع الصيانة السليمة ؟

١٥.صف مع الاستعانة برسم تخطيطى نظام التزييت الداخلى لمحرك ديزل كبيـر بـرأس منزلق وفيه يتم تبريد المكابس بالزيت .

١٦.أذكر باختصار الصعوبات فى تزييت كراسى رأس الانزلاق ، وما هى الطرق المختلفة التى استخدمت للتغلب عليها .

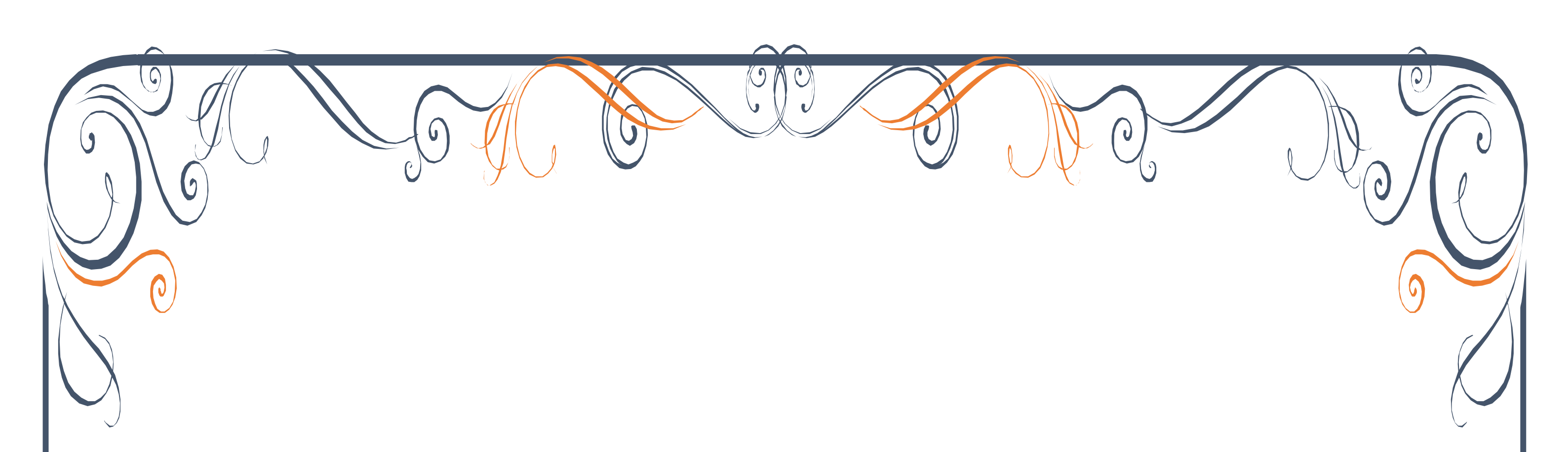
١٧.أشرح كيف يمكن اجراء معاينة لاختبار استقامة عمود المرفق وتسـجيل القـراءات . لماذا يجب عمل هذا الاختبار ؟ وما هى نتيجة التشغيل مع عدم وجود استقامة ؟

١٨.ماهى القوة المؤثرة على عمود مرفق المحرك الرئيسى المتصل مباشرة بالرفاص أثناء التشغيل . أذكر الأسباب التى تؤدى إلى :

أ – الانهيار التام نتيجة الاجهادات الزائدة .

ب – الانهيار بدون اجهادات زائدة .

١٩.أرسم رسماً تخطيطياً واوصف صمام العادم المثبت على محرك ديـزل بحـرى ثنـائى الأشواط ويعمل بالوقود الثقيل .



٢٠.أذكر الأسباب التى تؤدى إلى انهيار صمام عادم محرك رئيسى يعمل بالوقود الثقيل ، وكيف يمكن التغلب عليها .

٢١.متى يجب مراجعة خلوص الصمامات ، ولماذا يترك هذا الخلوص وما مقداره بالنسبة لمحرك المولد الديزل ؟

ـ كيف يمكن معرفة أن أحد صمامات العادم غير حاكم تماماً ؟

٢٢.ما هى أسباب حدوث الشروخ برأس اسطوانة المحرك الديزل ؟

٢٣.أ ين يوجد أكبر نحر بجلبة اسطوانة المحرك البطئ والسريع . علل ذلك .

٢٤.لماذا تستخدم الكتينة فى نقل الحركة لعمود الحدبات ؟

ـ ما هى الأسباب التى تؤدى إلى فقد الشد وما تأثيره على التشغيل ؟

ـ أذكر الصيانة المطلوبة بالتفصيل .

٢٥.ناقش أسباب انهيار أجزاء المحرك الديزل الآتية :

ـ رأس الاسطوانه ـ المكبس ـ القميص ـ صمام العادم .

ـ أشرح كيف يمكن التغلب على هذه الانهيارات بالتصميم وأثناء فترة التشغيل ؟

٢٦.أشرح بالتفصيل كيفية فحص عامود المرفق وفرش محرك ديزل كبيرة ، ما هى الأعطاب المحتمل وجودها وأسبابها ؟

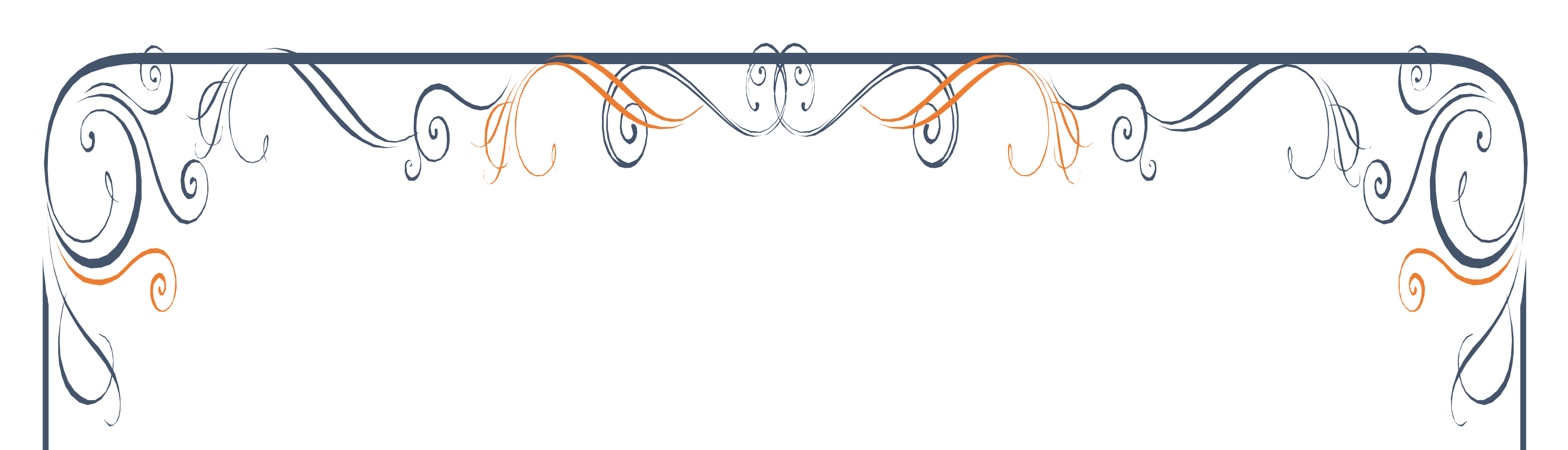
٢٧.أوصف بالاستعانة بالرسم كاتينة عمود الكامات لمحرك ديزل كبير وبين :

ـ أسباب انهيارها ـ كيفية تثبيت الكاتينة ـ أسباب فقد الشد وتأثيره

ـ كيفية ضبط الشد .

٢٨.ناقش تفضيل استخدام أحد المحركات التالية لتشغيل سفينة جديدة :

تربينة بخارية ـ تربينة غازية ـ محرك ديزل ذات كباسات متقابلة ـ محرك ديزل رباعى الأشواط ـ محرك ديزل ثنائى الأشواط .



الباب الثالث

الوقود والاحتراق Fuel & combustion

يلزم لدراسة عملية الاحتراق داخل اسطوانة محرك الديزل الإلمام التام بالخواص الطبيعية والكيميائية لأنواع الوقود المستعملة فى تلك المحركات ، حتى يمكن الوصول بعملية الاحتراق إلى أعلى كفاءة .

٣ ـ ١ : مقدمة Introduction

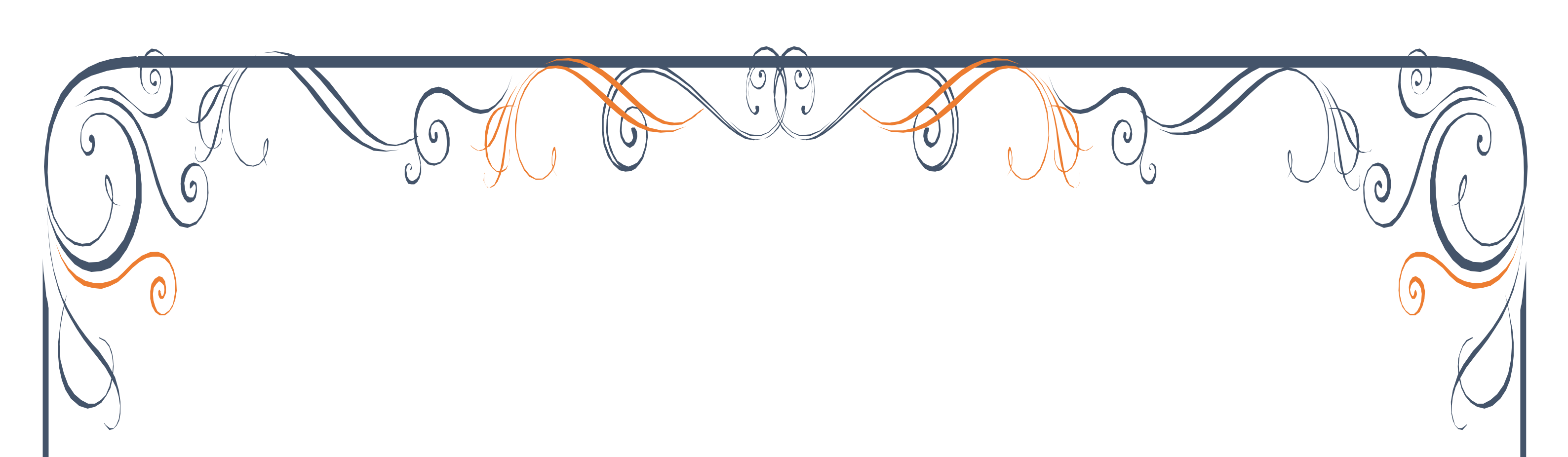
يستخرج البترول الخام على هيئة سائل يحتوى على العناصر المختلفة أهمها الهيدروجين H_2 والكربون C وتجرى عليه عملية التقطير Distillation للحصول على الأنواع العديدة من الوقود والتى تتفاوت فيما بينها من حيث التركيب والخصائص .

عند تسخين الخام تدريجياً إلى درجات ثابتة من الحرارة داخل أوعية مغلقة تتبخر أولاً الزيوت الخفيفة ، وبرفع درجة الحرارة أكثر تتبخر الزيوت المتوسطة الثقل وتليها الزيوت الأثقل ، وتتجمع الأبخرة الناتجة عند كل من درجات الحرارة الثابتة المختلفة فى وعاء التقطير حيث تتكثف لتتجمع ثانية فى أوعية منفصلة يحتوى كل منها على سلسلة من الزيوت المتقاربة الخواص ، وبتكرار العملية على كل سلسلة نحصل على أنواع مختلفة من الوقود .

وتلى عملية التقطير عملية تحويل نوع من الوقود إلى نوع آخر بغرض الوصول إلى أنواع ممتازة ، وباتباع هذه العملية يتغير تركيب جزئى مركب الهيدروجين والكربون وتتغير أيضاً نسبة وجود الهيدروجين إلى الكربون ، كما يمكن تحويل بعض جزيئات الزيت غير المرغوب فيها إلى أخرى نافعة بإضافة بعض المواد الكيميائية المساعدة ويستخدم فى هذا التحويل طريقة التكسير الحرارى cracking لجزيئات الزيت الثقيلة إلى أخرى خفيفة باستخدام الحرارة والضغط .

أما زيوت التزييت فيمكن الحصول عليها بعد ذلك بطريقة التقطير بالتفريغ .

وما يتخلف من عمليات التقطير يطلق عليه اسم الوقود المتخلف residues أو الوقود الثقيل Heavy-oil fuel .



٢ ـ ٢ خصائص وقود محركات الديزل

Properties of diesel fuels

تؤثر خصائص الوقود بدرجة ملحوظة على أداء المحرك الديزل ، وتقاس هذه الخصائص عادة بواسطة تجارب معملية ، وهى كالآتى :

ـ الكثافة : Density

وهى نسبة الكتلة / حجم وتستخدم لتحويل كميات الوقود الموجودة فى الصهاريج من أحجام إلى أوزان ، وكذلك لتحديد أقماع المنقيات المناسبة ، وبالرغم من أن الزيوت المتبقية Residuals تسمى بالزيوت الثقيلة Heavy-oils فهذا ليس المقصود به الوزن النوعى أو الكثافة ولكن المقصود به اللزوجة Viscosity .

ـ الوزن النوعى : Specific gravity

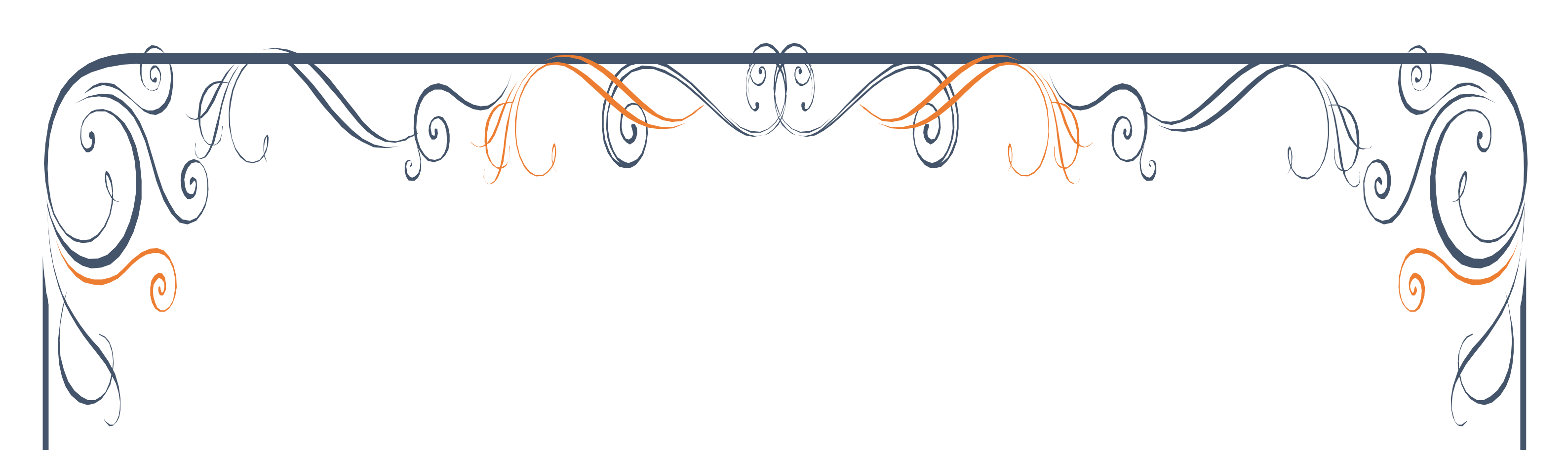
عبارة عن نسبة وزن حجم معين من زيت الوقود إلى وزن حجم مساو له من الماء المقطر ، ويدل بصفة تقريبية على أنواع الزيوت المختلفة التى تنقسم إلى زيوت ذات أوزان نوعية عالية ، وأخرى ذات نوعية منخفضة . ولا يخفى علينا أنه توجد زيوت ذات أوزان نوعية متساوية إلا أنها تختلف تماماً فى درجة اللزوجة ونوعية الاشتعال .
وتستعمل تجارياً لتحديد الوزن النوعى وحدات قياسية عبارة عن أعداد صحيحة بدلاً من الكسر العشرى وتسمى درجات A.P.I وترمز إلى (المعهد الأمريكى للبترول) ونحصل عليها باستخدام المعادلة :

$$\text{Gravity A.P.I. degree} = \frac{141.5}{\text{sp. gravity at } 60^\circ \text{F}} - 131.5$$

إذا كان الوزن النوعى لوقود يساوى ٠,٩٢٢ فيكون درجة A.P.I. مساوية لـ ٢١,٩.

ـ نقطة الوميض : Flash point

هى درجة الحرارة التى يبدأ عندها زيت الوقود فى التبخر بكمية قابلة للاحتراق بحيث تشتعل فجأة على صورة وميض إذا قرب لهب منها . وهذه النقطة فى الواقع مقياس لمدى خطورة تخزين ونقل الوقود (يجب ألا تقل عن ٦٥ °) .



ــ التطاير : Volatility

تعبر عن استعداد الوقود السائل للتحول إلى بخار ، ويقاس بالنسبة لوقود محرك الديزل بدرجة الحرارة التى يتم عندها تطاير ٩٠% من مقدار معين من هذا الوقود ، وبذلك يكون الوقود أكثر تطايراً كلما انخفضت هذه الدرجة .

ــ اللزوجة Viscosity

تعبر عن مقدار الاحتكاك الداخلى لجزيئات المائع أو مقدار مقاومته للسريان ، وتقاس عادة (فى حالة الوقود) بجهاز Redwood وهى عدد الثوانى اللازمة لسريان كمية معينة من الوقود خلال ثقب صغير فى أسفل الجهاز . وقد عمم دولياً فى الوقت الحاضر قياس لزوجة الوقود البحرى بوحدة سنتيستوك $Centi-stock = 1\frac{mm^2}{sec.}$ ... وعند درجة حرارة ٥٠ °م . وتقل اللزوجة بارتفاع درجة الحرارة ، ولذا يلزم تسخين أنواع الوقود الثقيل إلى درجة معينة بحيث نحصل على اللزوجة المناسبة للاحتراق .

ملحوظة :

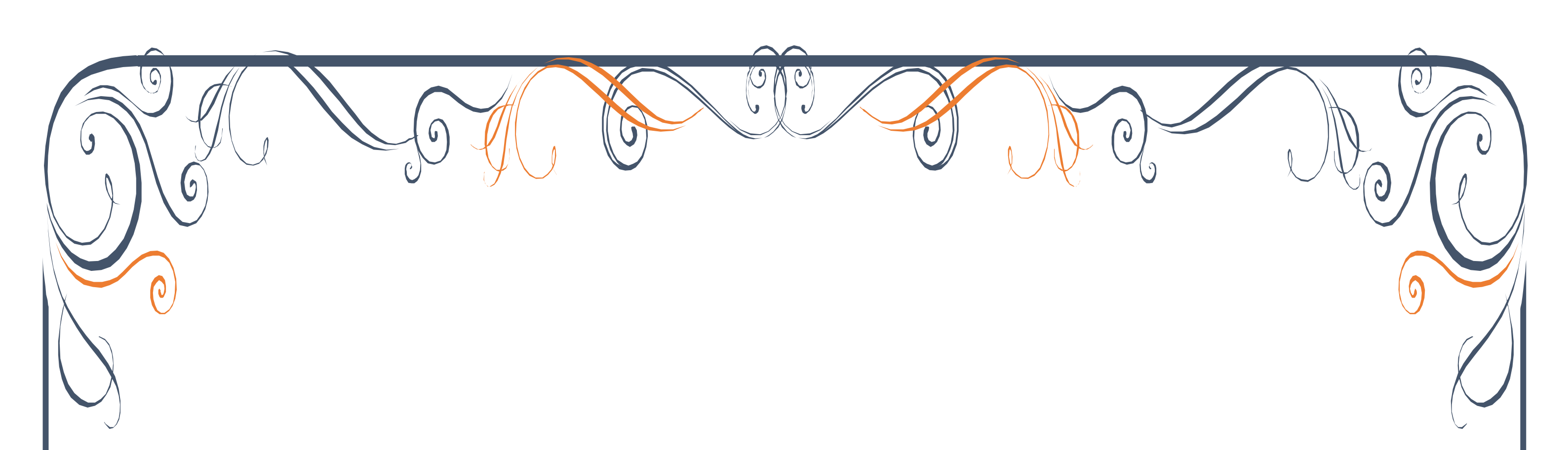
لكى نحصل على درجة الحرارة هذه يستخدم كارت العلاقة بين (درجة الحرارة ــ اللزوجة) شكل (٣ ــ ١١) . وللعلم فإن درجة الحرارة هذه هى التى تعطى ــ لأى نوع من الوقود ــ لزوجة مقدارها ٦٠ : ٧٠ ثانية . ريدوود عند ١٠٠ ° ف .

نوعية الاشتعال : Ignition-quality

هو تعبير عن مدى قابلية الوقود للاشتعال الذاتى Self-ignition داخل الاسطوانة ، فالوقود الجيد فى نوعية الاشتعال يشتعل ذاتياً فى وقت أقل فيحسن أداء المحرك ولا يحدث الخبط Knocking.وتعتبر خاصية نوعية الاشتعال من أهم خصائص وقود محركات الديزل وعلى الأخص السريعة منها ، ويعبر عنها برقم معين يسمى الرقم السيتينى Cetane NO.

نقطة التدفق : Pour point

هى درجة الحرارة التى يبدأ عندها الوقود فى التجمد ، وتدل على مدى ملاءمته للاستعمال فى المحركات التى تعمل فى الأجواء الباردة ، ولذا يلزم وسائل تسخين للصهاريج والمواسير .



ـ مقدار الرماد : Ash content

هى مقدار المواد الصلبة الموجودة فى الوقود كبعض المواد المعدنية (نيكل ـ المنيوم سيليكون ـ فانديوم) والتى تسبب نحراً سريعاً فى بعض أجزاء المحرك .

ويعد الفانديوم Vanadium أهم هذه المواد المعدنية ، حيث أنه أثناء احتراق الوقـود يترسب فانديوم بنتا أكسـيد على الأسطح الحديدة (مثل صمام العـادم) ويحـدث التآكـل High-temperature corrosion عند درجة الحرارة التى تزيد عن ٥٥٠° م . وإذا تواجد الصوديوم Sodium فيتحد مع الفانديوم ويكون مادة شديدة الصلابة وتنصهر عند درجة حرارة ٦٣٠° م .

ويقاس مقدار الرماد بحرق كامل لقدر معين من الوقود ثم تقدير مقدار الرماد المتخلف من الاحتراق بالنسبة للوزن الأصلى للوقود .

ـ مقدار الماء : Water content

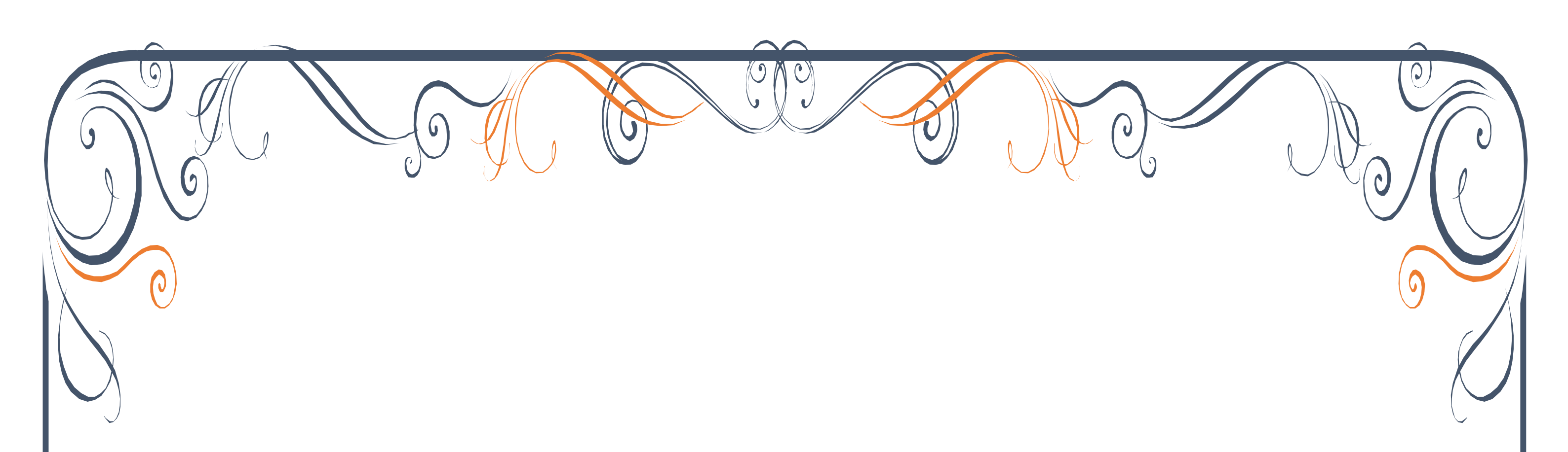
تقاس نسبة وجودها فى زيت الوقود بعد عزلها منه باستعمال المنقيات .

ـ مقدار الكبريت : Sulphur content

تواجد الكبريت فى الوقود غير مرغوب فيه ، لما له من آثار ضارة على المعادن ، إذ تتحد الغازات الناتجة عن احتراقه مع بخار الماء المتكثف الناتج عن احتـراق الوقـود ، ويتكون بذلك أحماض الكبريتيك الضارة والتى تسبب تآكل الأجزاء . وتزداد هذه الظـاهرة عندما يعمل المحرك على الحمل الجزئى وتنخفض درجة الحرارة .

ـ الكربون المتخلف : Conradson carbon residue

يعبر عن مقدار المادة المتخلفة بعد حرق كمية معينة من الوقود فى إناء مغلـق وفـى معزل عن الهواء بعد تمام تبخر الوقود المتطاير ، وتدل كمية الكربون المتخلف على مدى قابلية الوقود لتكوين رواسب كربونية خاصة على الفـوانى Nozzles وحلقـات المكـبس والبوابات وتسبب تقليل كفاءة المحرك ، وتزيد البرى فى الأجزاء .



ـ المواد الأسفلتية Asphatenes

تتواجد على هيئة ذرات صلبة أو مواد لاصقة ، وتسبب الاحتراق الردئ .

ـ القيمة الحرارية : Calorific value

هى كمية الحرارة المعطاة بحرق كمية معينة من الوقود ، وبها يمكن معرفة كفاءة أداء المحرك فى تحويل الطاقة الحرارية المتولدة إلى شغل . وتتحدد عـادة القيمـة الحراريـة بتجارب معملية فى المسعر Calorimeter ويمكن حسبها نظرياً من المعادلة الآتية :

$$C.V \text{ in } K.Cal/Kg = \frac{8100C + 34000\left(H - \frac{O}{8}\right)}{100}$$

حيث أن C,H,O هى نسب هذه العناصر فى ١ كج من الوقود .

٣ ـ ٢ ـ ١ الصفات التقريبية المميزة لوقود محركات الديزل البحرية :

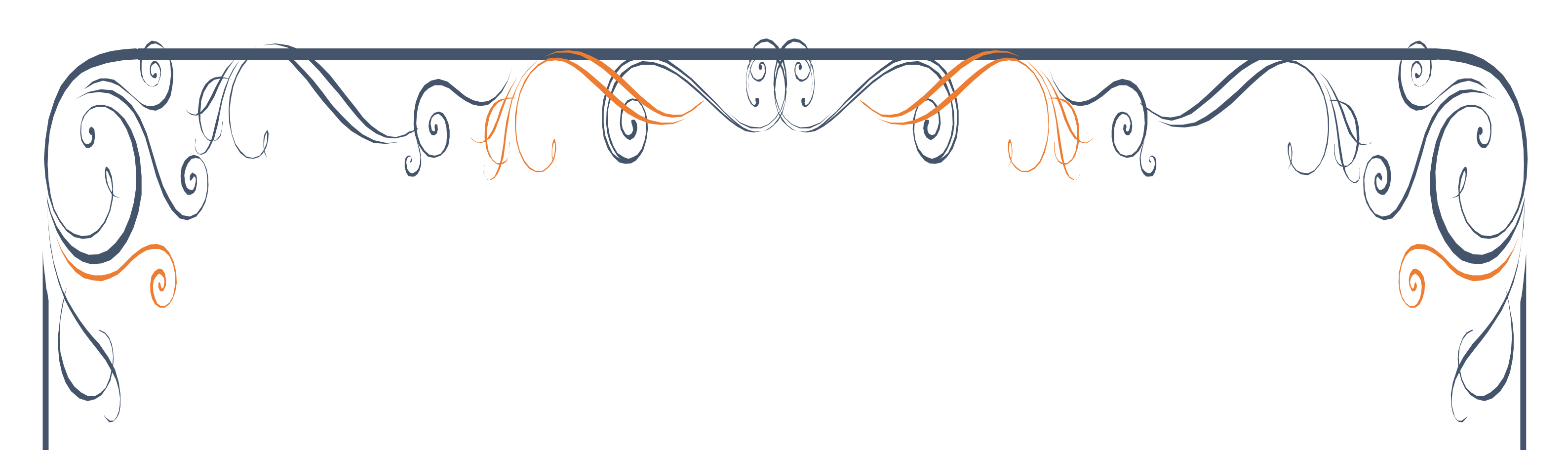
Approximate Properties of Liquid Fuels

الجدول شكل (٣ ـ ١) يعطى فكرة عن الصفات التقريبية لأنواع الوقود :

	Marine Diesel Gas Oil	Marine Diesel Fuel Oil	Residual Fuel Oil
Specific Gravity (15° C)	0.82 to 0.86	0.85 to 0.88	0.94 to 0.99
Flash Point above (65° C)			
Viscosity , Redwood No 1 at (38 ° c)	30 to 42 secs.	35 to 70 secs.	1000 to 6000 secs.
Ash Content per cent . wt	0.01 max	0.05 max.	0.15 max.
Sulphur , per cent. Wt .	1.0 max	1.75 max.	2 to 5
Calorific Value MJ/Kg gross	46.7	46.0	44.0
Water and sediment, per cent	0.05	0.05	1
Ignition Quality , Cetane No.	45 to 60	42 to 55	30 to 35
Conradson carbon Residue, per cent	0.2 max.	0.45	10 to 22

شكل (٣ ـ ١)





أ ــ السولار ــ وقود الديزل : Marine diesel fuel oil

ويمكن الحصول عليه بالتقطير ولا تزيد اللزوجة عن 70 sec.Red-1 at 38° c. والرقم السيتينى لا يقل عن ٤٠ ، ونسبة الكبريت لا تزيد عن ١,٧٥ % .

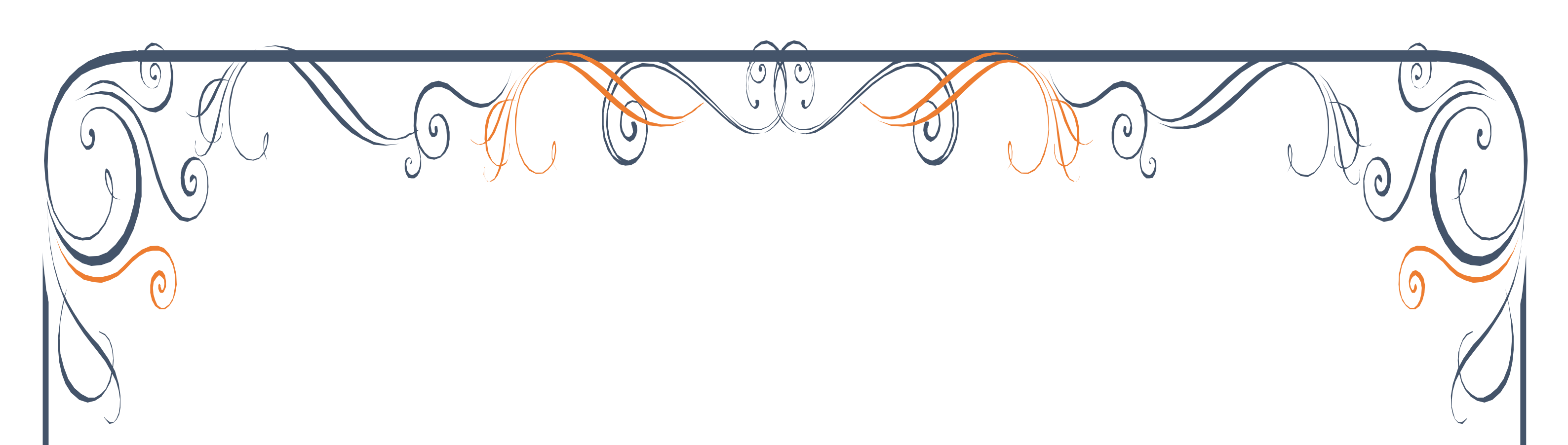
ب ــ الزيوت المتبقية : Residual fuel oil

وهى بقايا التقطير وتصل اللزوجة إلــى 700 C.st. at 50° C . وربمــا يقــل الــرقم السيتينى إلى ٣٠ ، وربما تزيد نســـبة الكبريت إلى ٥% كما يتضـــح مــن الجــدول شــــكل (٣ ـ ٢) .

Density at 15° C	Kg / m^3	Max. 0.991
Kin . Viscosity		
at 50 ° C.	mm^2 / s (cSt)	max. 700
at 100 ° C	mm^2 / s (cSt)	max. 55
Carbon Residue(CCR)	m/m (%)	max. 22
Sulphur	m/m (%)	max. 5.0
Ash Content	m/m (%)	max. 0.2
Vanadium	Mg/ Kg / (ppm)	max. 600
Sodium	Mg/ Kg / (ppm)	max. 100
Aluminum	mg /Kg / (ppm)	max. 30
Silicon	Mg/ Kg / (ppm)	max. 50
Sediment (S H F)	m / m (%)	max. 0.10
Water Content	v /v (%)	max. 1.0
Flash Point	° C	min. 60
Pour Point	° C	max 30

شكل (٣ ــ ٢)



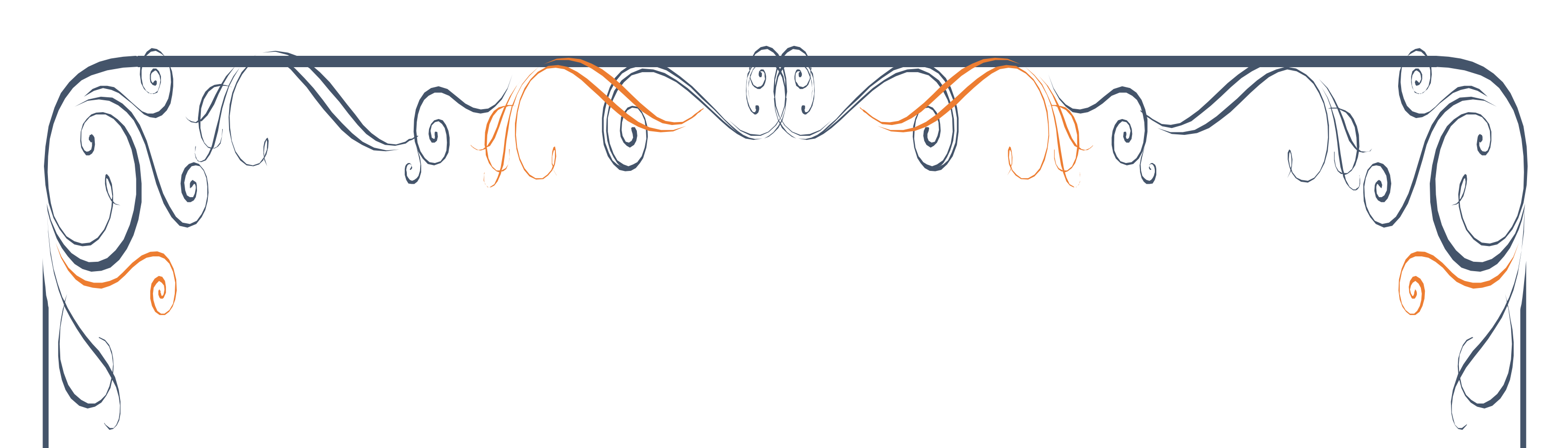


والجدول التالى شكل (٣ ــ ٣) يعطى فكرة عن المواصفات الحالية والمستقبلية للوقود الثقيل وتأثيره على أجزاء محرك الديزل ، وعليه فإن من واجبات المهندس البحرى أن يكون يقظاً لما يحتويه الوقود من الشوائب وآثارها الضارة على أجزاء المحرك والتشغيل وطرق العلاج التى يجب اتباعها لمقاومة هذه الآثار .

Effects of Heavy Fuels

Properties	*Present H.O.*	*Future H.O.*	*Effect on Engine*
Viscosity (Red) at 37°C Heating temp. pumping centrifuging injection	3500 50 95 110- 120	5200 65 98 115 – 130	Increased fuel heating required
Density at 15 ° C	0.980	0.991	Water elimination becomes more difficult
Pour point ° C	30	30	
Noxious element Carbon residue %	6-12	15-22	Fouling risk of components Increased combustion delay
Asphaltenes %	4-8	10-13	-Hard asphaltne producing hard particles -Soft asphaltene giving sticky deposits at low output -Increased combustion delay with defective combustion and pressure gradient increases
Cetane number	30-55	25-40	High pressure gradients and starting problems
Sulphur %	2-4	5	Wear of components due to corrosion below dew point of sulphuric acid (about 150° C)
Vanadium ppm. Sodium ppm.	100-400 18-25	120-500 35-80	Burning of exhaust valves at about 500° C Lower temp. in case of high Na content
Silicon and aluminum (CCF slurries)			Wear of liners , piston grooves, rings, fuel pump and injectors

شكل (٣ ــ ٣)



٢ ـ ٢ كيمياء الاحتراق Chemistry of Combustion

يتكون وقود المحركات الديزل من مركبات كيميائية من الهيدروجين والكربون بنسب مختلفة يتوقف عليها شكل المركب $C_x \; H_y$ كما تحتوى أيضاً على بعض الشوائب الغير مرغوب فيها مثل الكبريت .

وفيما يلى بعض التفاعلات الكيميائية التى تحدث عند الاحتراق داخل الاسطوانه :

أ ــ احتراق الكربون الكامل :

$$C + O_2 \longrightarrow CO_2$$

$$12 + 16x2 \longrightarrow 44$$

$$1 + \frac{32}{12} \longrightarrow \frac{44}{12}$$

$$1 \text{ part} + 2\frac{2}{3} \text{ parts} \longrightarrow 3\frac{2}{3} \text{ parts}$$

وإذا لم يتوافر الأكسيجين بكمية وفيرة فإنه يحدث الاحتراق الغير كامل ويكون كالآتى :

$$2C + O_2 \longrightarrow 2\,CO \quad (\text{Carbon monoxide})$$

$$2 \times 12 + 2 \times 16 \longrightarrow 56$$

$$1 \text{ part} + 1\frac{1}{3} \text{ parts} \longrightarrow 2\frac{1}{3} \text{ parts}$$

ب) احتراق الهيدروجين :

يتحد الهيدروجين بالأكسيجين مكوناً الماء طبقاً للمعادلة التالية :

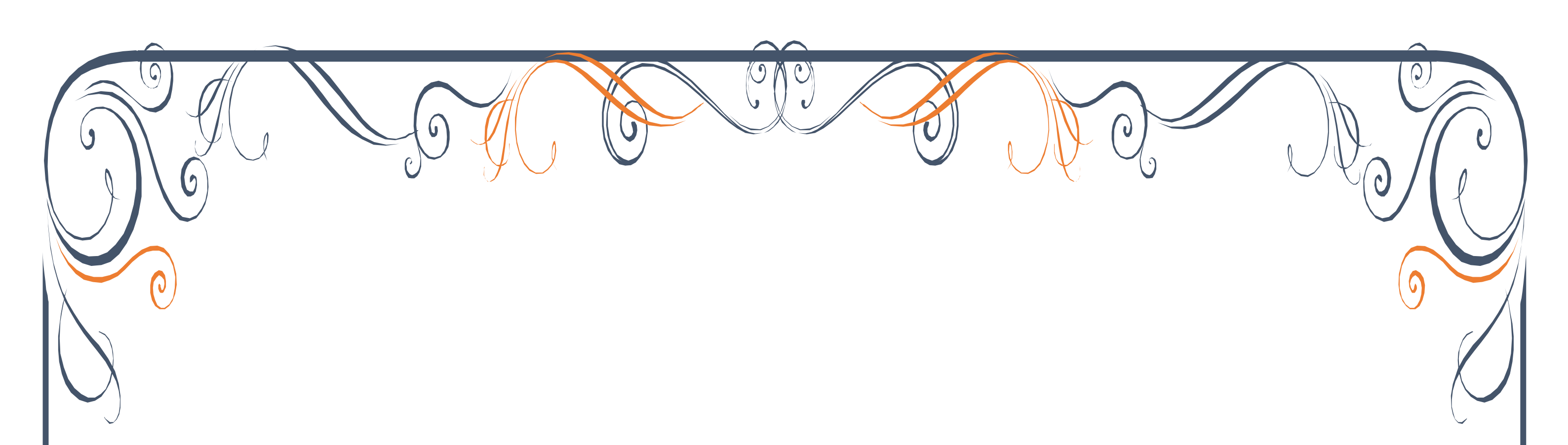
$$2\,H_2 + O_2 \longrightarrow 2\,H_2O$$

$$2 \times 2 + 2 \times 16 \longrightarrow 36$$

$$1 \text{ part} + 8 \text{ parts} \longrightarrow 9 \text{ parts}$$

أى أنه جرام واحد من الهيدروجين يتحد مع ثمانية جرامات من الأكسيجين فتنتج تسعة جرامات من الماء .

مما سبق يتضح أن عملية الاحتراق تتوقف على كمية الهواء المتاحة للاحتراق ، فلو كانت كمية الهواء قليلة ينتج أول أكسيد الكربون وإذا كانت كمية الهواء وفيرة ينتج الاحتراق الكامل . وعند قيمة معينة من الهواء يتم الاحتراق كاملاً ، وتسمى كمية الهواء هذه بالكمية النظرية Theoretical-air وإذا زادت كمية الهواء يكون الهواء زائد ويسمى Excess-air .



٣ ــ ٣ ــ ١ حساب كمية الهواء نظرياً : Theoretical air

قبل البدء فى حساب كمية الهواء النظرية للاحتراق ، يلزم معرفة نسب مكونات الوقود ويمكن الرجوع إليها من الجدول شكل (٣ ــ ٤) .

فإذا فرضنا أن نوع الوقود يحتوى على النسب التالية :

C = 86% . H_2 = 12.5% ashes = 1.5%

	Light Diesel Oil	Marine Diesel Oil	Heavy Fuel Oil
Specific gravity 15.5 °C	0.870	0.940	0.960
Analysis : %C	87.1	86.1	86.1
%H	12.7	12.2	11.9
%S	0.2	1.4	1.7
%Ash	-	-	0.3
Viscosity :-Centistokes at 50 °C .	2.8	15	200
- Second Red No. 1 at 100 °F.	32	90	1800
Theoretical air / fuel ratio	14.41	14.16	14.1
Calorific value : gross MJ / Kg	45.22	43.96	43.54
Net MJ / Kg	42.32	41.45	41.03

شكل (٣ ــ ٤)

فإن كمية الهواء النظرية اللازمة للاحتراق هى :

$$C + O_2 \longrightarrow CO_2$$

$$1 + 2\frac{2}{3} \longrightarrow 3\frac{2}{3}$$

$$0.86 + 2\frac{2}{3} \times 0.86 \longrightarrow 3\frac{2}{3} \times 0.86$$

$$0.86 + 2.29 \longrightarrow 3.15$$

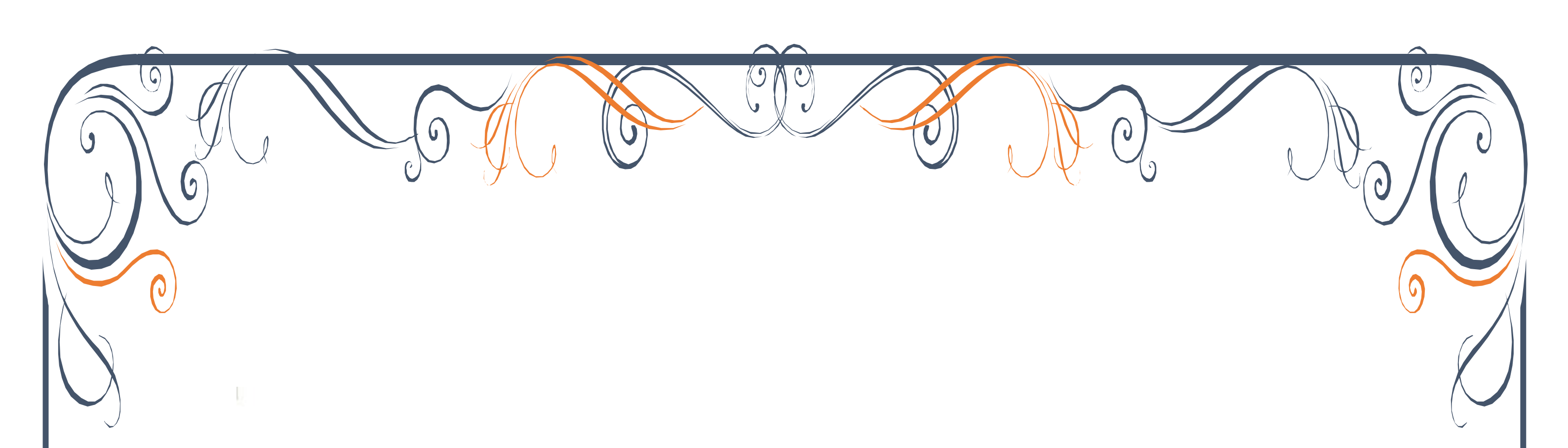
and

$$2H_2 + O_2 \longrightarrow 2H_2O$$

$$1 + 8 \longrightarrow 9$$

$$0.125 + 1 \longrightarrow 1.125$$

$\therefore$ 1 Kg of fuel needs 3.29 Kg O_2



ولما كانت نسبة الأكسيجين فى الهواء الجوى هى ٢٣,١ % وزناً، فيكون وزن الهواء اللازم لاحتراق كيلوجرام واحد من الوقود السابق هى :

$$3.29 \times \frac{100}{23.1} = 14.3 \text{ Kg of air .}$$

أى أن نسبة وزن الهواء النظرية للوقود هى ١٤,٣ : ١ .

ولما كان الوقود يحتوى على نسبة من الشوائب مثل الكبريت وخلافه فدائماً ما تكـون النسبة النظرية أكبر من ذلك ويمكن القول أنها ١٤,٥ : ١ .

٣ ــ ٣ ــ ٢ : كمية الهواء الفعلية اللازمة للاحتراق : Actual-air

بمعرفة النسبة النظرية للهواء إلى الوقود ، يمكن تحديد وزن أقل كمية من الهواء يلزم دخولها إلى اسطوانة المحرك لحرق كمية معينة من الوقود ، إلا أن هذه الكمية من الهواء لا تكفى لاحتراق الوقود احتراقاً كاملاً نظراً لبعض الصعوبات الفنية ، وأهمها عدم الاختلاط الكامل بين الهواء والوقود قبل الاحتراق .

وللحصول على الاحتراق الكامل ينبغى تزويد محرك الديزل بكمية هواء أكبر من الكمية النظرية ، ونسبة كمية الهواء المتاحة إلى كمية الهواء النظرية تسمى معامل زيادة الهواء Excess-air factor وهى تتغير عـــادة فى المحرك نفسه تبعاً للحمل ويســـاوى ٢ عند الحمل الكامل .

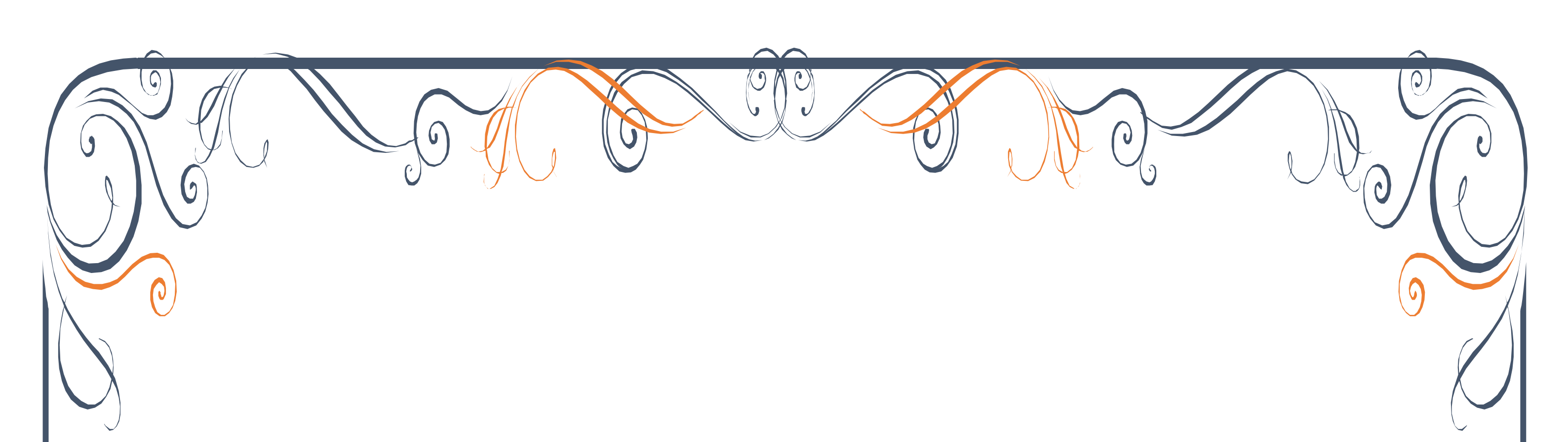
٣ ـ ٤ نوعية الاشتعال

Ignition-quality

يعرف الوقود بأنه ذات نوعية اشتعال جيدة High ignition-quality عنـدما يتبخـر ويحترق فى زمن قليل ، ويستعمل لتحديد نوعية الاشتعال وحدة تسمى " الرقم الســيتينى " Cetane No. وأخرى تعرف بـــ دليل الديزل Diesel index

٣ ــ ٤ ــ ١ : الرقم السيتينى Cetane Nº.

وهو يدل على النسبة الحجمية لكمية وقود السيتين (Cetane (C_{16} H_{34} فى خلـيط مكون من السيتين ومركب آخر من مركبات الهيدروجين المكـربن وهـو (C_{11} H_{10})



Alpha – Methyl & Naphthalene وله نفس فترة التعوق للوقود المقصود .

ويمتاز السيتين بسرعة اشتعاله أما الآخر فيشتعل بغاية البطء . فإذا كان الرقم السيتينى لوقود ما هو ٤٥ ، فإن هذا يعنى أن ذلك الوقود ذو نوعية اشتعال متساوية مع وقود آخر عبارة عن خليط مكون من ٤٥% سيتين ، ٥٥ % المركب الآخر حجماً .

ويتحدد الرقم السيتينى لوقود ما باختباره فى محرك قياسى ذو اسطوانة واحدة وتتغير فيه نسبة الانضغاط .

وأساس هذا الاختبار هو أنه فى محرك ذو سرعة ثابتة معينة يتساوى وقودان فى نوعية الاشتعال ، إذا تساوت فترة التعوق Ignition – lag عند نسبة انضغاط واحدة .

ويجرى الاختبار عادة برفع نسبة الانضغاط إلى القيمة التى يحترق عندها الوقود المراد اختباره بعد فترة تعوق قياسية ، ثم اجراء اختبار مماثل عند نفس نسبة الانضغاط على خليط مكون من نسب مختلفة من السيتين والمركب الآخر حتى نحصل على خليط يعطى نفس فترة التعوق Ignition-lag للوقود المراد اختباره.وبذلك تكون النسبة المئوية بالحجم لمقدار السيتين الموجود فى هذا المزيج يمثل رقم السيتين .

ويستخدم فى المحركات السريعة وقود ذات رقم سيتينى عالى حوالى ٥٠ ، أما فى المحركات البطيئة فيمكن استخدام وقود ذات رقم سيتينى واطى حوالى ٣٠ .

٣ – ٤ – ٢ : دليل الديزل : Diesel-index

للسهولة يستخدم عادة ' دليل الديزل ' .D.I فى تحديد نوعية الاشتعال للوقود ، ويمكن الحصول عليه من المعادلة التالية :

$$D.I = \frac{A \times G}{100}$$

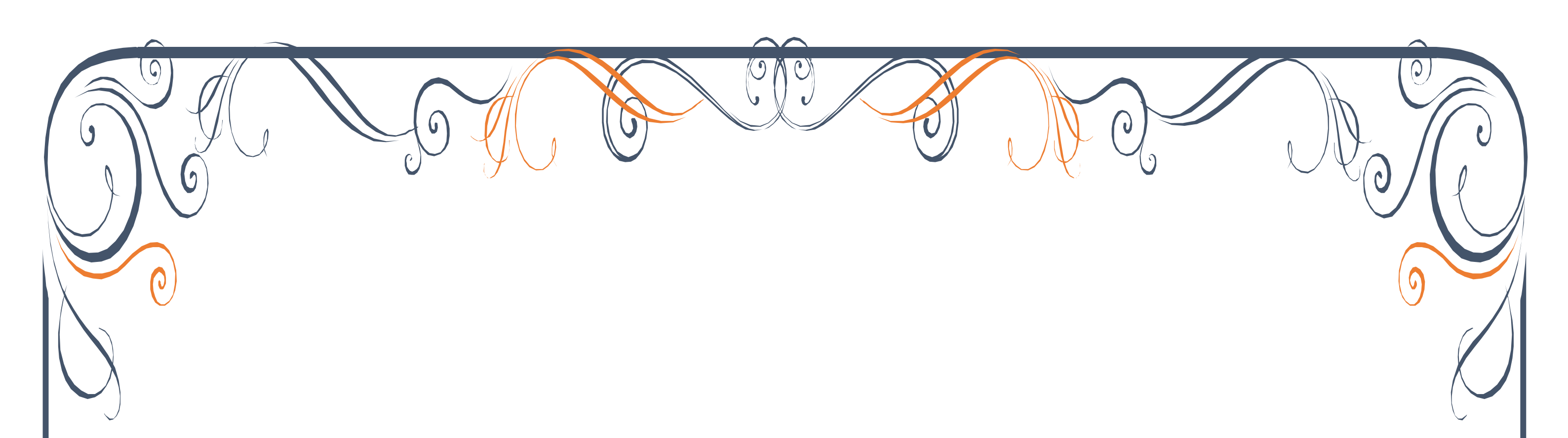
Where :

A – Analine point °F .... درجة الأنالين

وتعرف بأنها أقل درجة حرارة يمتزج عندها تماماً جزءين متساويين بالحجم من الوقود المختبر والأنالين .

G – A.P.I Gravity of Fuel الوزن النوعى بوحدات .A.P.I

والجدول المرفق شكل (٣ – ٥) يربط العلاقة بين الرقم السيتينى ودليل الديزل .



Approximate conversion table

(Diesel index to cetane number)

Diesel Number	Cetane Number	Diesel Number	Cetane Number
0	18	55	53
5	20	60	56
10	24	65	59
15	28	70	62
20	30	75	65
25	34	80	68
30	37	85	71
35	40	90	75
40	43	95	78
45	46	100 .	81
50	50		

شكل (٣ ــ ٥)

٢ ـ ٥ : عملية الاحتراق فى الديزل

Diesel combustion process

يدخل الوقود مندفعاً فى الاسطوانة على هيئة ضباب بواسطة فوهة الحاقن Fuel-valve nozzle ، وهناك تتقابل ذرات الوقود مع ذرات الهواء المضغوط الذى يمـلأ الاسـطوانة والذى ارتفعت درجة حرارته نتيجة الانضغاط إلى أعلى من ٥٠٠ ° م ، فترتفع درجة حرارة الوقود ويتبخر ، ويبدأ بعضه فى الاشتعال الذى يسبب مزيداً من الحرارة تساعد بدورها على اشتعال بقية الوقود المتبخر .

وتكون الحالة مثالية إذا تم توزيع هذه القطرات بالتساوى على حيز غرفة الاحتراق . وكل قطرة تكون محاطة بغلاف من الهواء الساخن الذى يعمل على تبخرها ثم اشتعالها ، مما يساعد على اشتعال القطيرات المتجاورة له ، ويظهر الاشتعال الفجائى المصحوب بارتفاع درجة الحرارة والضغط ، ويستمر ذلك حتى يتم اشتعال معظم الوقود .

يؤثر هذا الضغط على تاج المكبس دافعاً إياه إلى أسفل ، ويظهر ذلك فى المشوار الفعال حيث تحول الطاقة الموجودة فى الوقود إلى شغل مفيد .

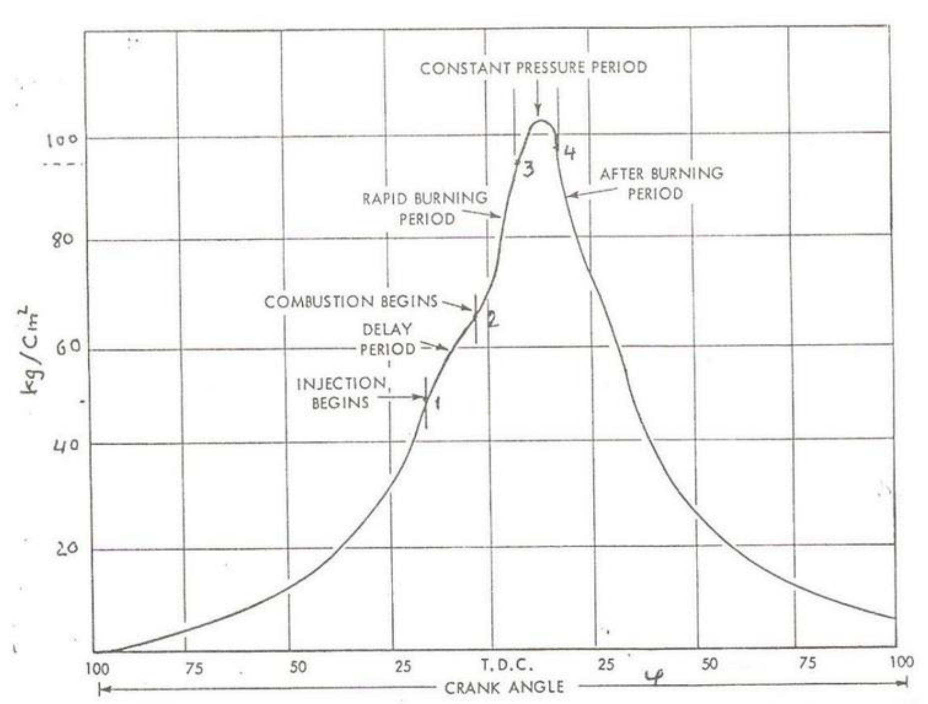


وشكل (٣ ــ ٦) يوضح منحنى الاحتراق البيانى لمحرك ديزل سريع ، ويمكن تقسيم عملية الاحتراق إلى ثلاثة مراحل رئيسية وهى :

١ ــ فترة التعوق : (1 – 2) Ignition-lag (delay-period)

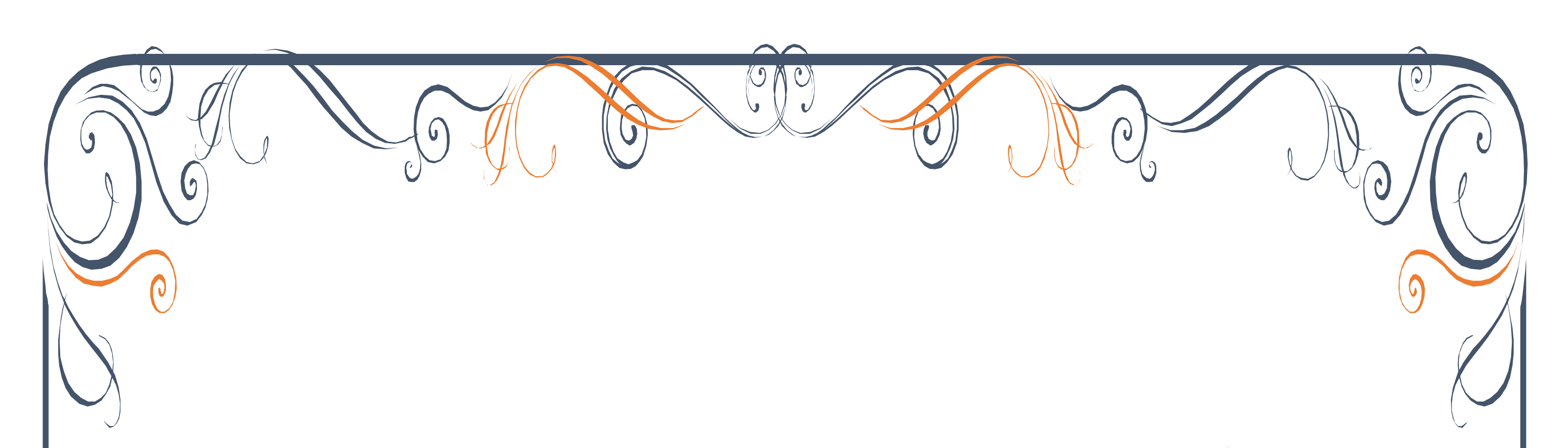
٢ ــ مرحلة الاحتراق السريع : (2 – 3) Rapid pressure rise

٣ ــ مرحلة الاحتراق المقيد : (3 – 4) Controlled combustion



Pressure-time diagram locating the stages of combustion in a compression-ignition (C.I.) engine.

شكل (٣ ــ ٦)



٣ ــ ٥ ــ ١ : فترة التعوق : Ignition-lag

هى الفترة من بداية الحقن Injection إلى بداية الاشتعال Ignition وهى فترة تحضير الوقود للاشتعال الذاتى وتستغرق حوالى ٠,٠٠٢ من الثانية ، وخلال هذه الفترة يندفع الوقود من الحاقن ويظهر على شكل مخروط ويتم تجزئته إلى قطيرات ترتفع درجة حرارتها وتتبخر ، وتنقص هذه الفترة كلما تحسنت نوعية اشتعال الوقود .

وتتأثر فترة التعوق بعوامل كيميائية وثرموديناميكية وهيدروديناميكية ، ونوضح فيما يلى العوامل التى تؤثر على فترة التعوق فى المحرك الديزل كما هو مبين بالشكل (٣ ــ ٧).

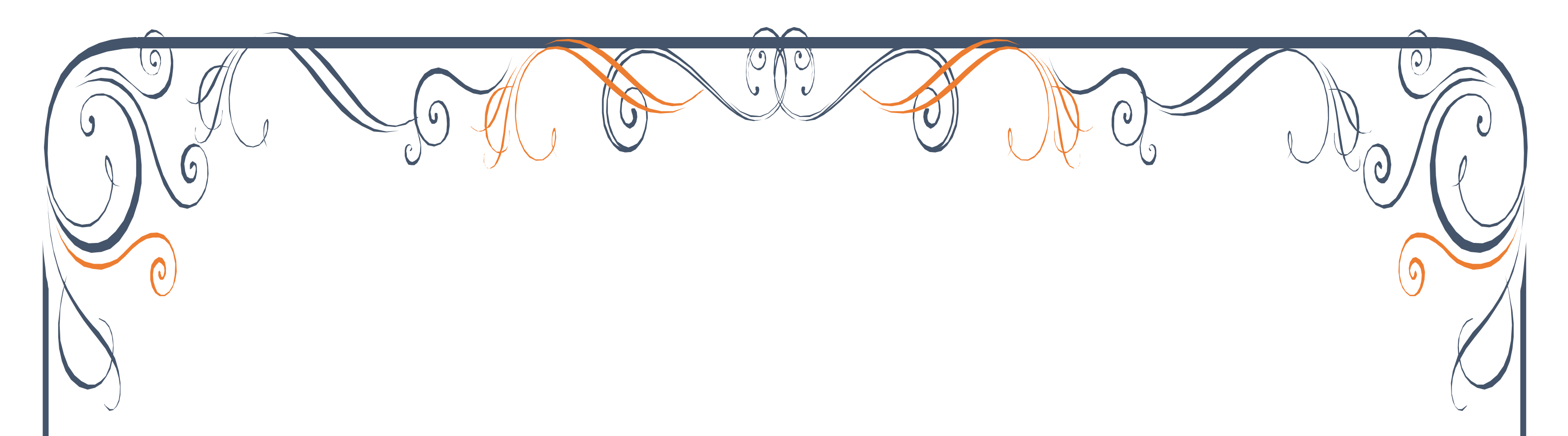
أ- تتغير فترة التعوق مع تغير درجة الحرارة المتواجدة فى نهاية شوط الانضغاط ويلاحظ أنه بازدياد درجة الحرارة تقل فترة التعوق حيث يزيد معدل انفصال جزيئات الهيدروجين فى الوقود وبالتالى ترتفع كفاءة التفاعل الكيميائى .

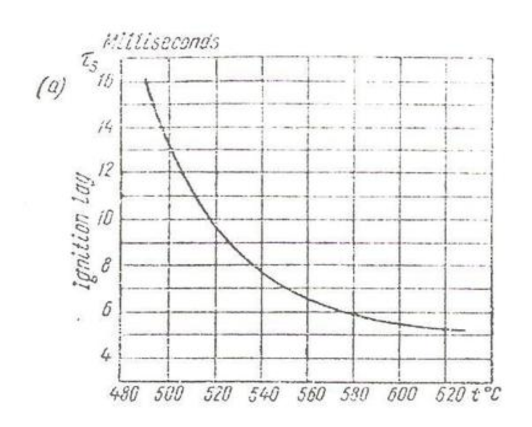
ب- مع ازدياد الضغط يزيد التوصيل الحرارى بين الجزيئات ، وتزيد عملية انتقال الحرارة لغازات الاحتراق فتقل تبعاً لذلك فترة التعوق ، وليكن معلوماً أن درجة الحرارة والضغط فى نهاية شوط الانضغاط تعتمد على نسبة الانضغاط وكذلك على درجة الحرارة والضغط فى بداية شوط الانضغاط ومقدار الشحن الجبرى .

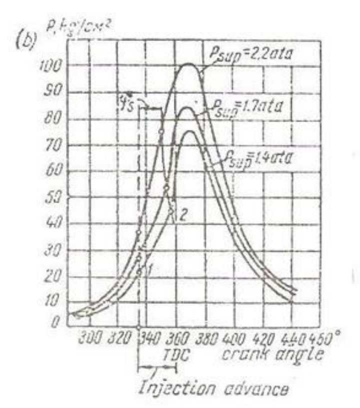
ج- تتأثر فترة التعوق بدرجة حرارة مياة التبريد ، فكلما زادت درجة حرارة مياة التبريد قلت فترة التعوق ، كما وأنه كلما زاد الحمل على المحرك كلما قلت فترة التعوق ، حيث أن زيادة كلا من العاملين السابقين يؤدى إلى زيادة درجة الحرارة والضغط فى نهاية شوط الانضغاط .

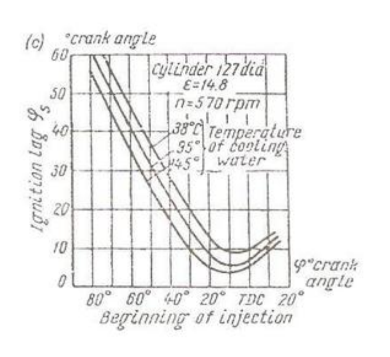
د- تتأثر فترة التعوق بتوقيت الحقن المبكر أو المؤخر ، فإذا كان مبكراً يدخل الوقود الاسطوانه عندما يكون الضغط ودرجة الحرار أقل ما يجب ، فتزيد بذلك فترة التعوق ، والعكس يحدث فى حالة الحقن المؤخر حيث تقل فترة التعوق .

ملحوظه : كلما زادت فترة التعوق كلما زاد ارتفاع الضغط فى المرحلة التالية لها ، ويطلق على هذا الأداء " تشغيل خشن " Rough-operation .









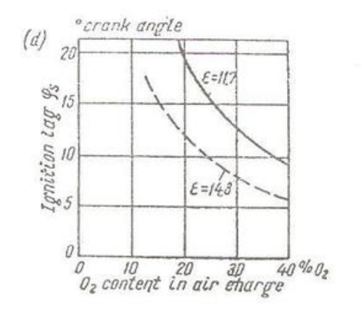
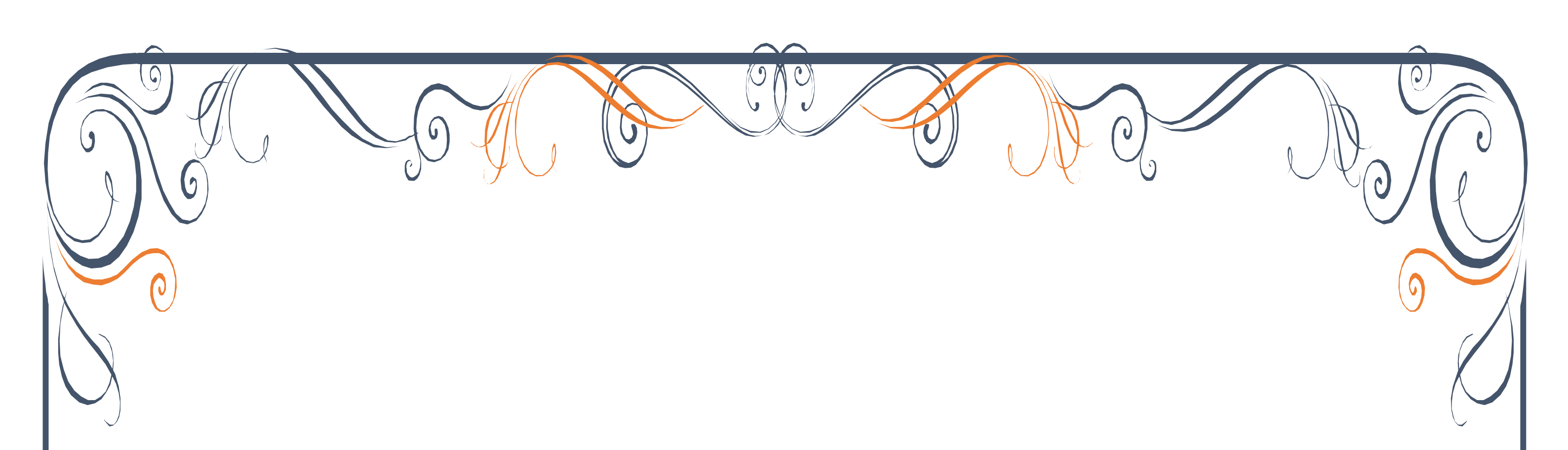


Fig. 51. Effect of various factors on ignition lag in a Diesel engine:
(*a*) effect of air temperature t_0; (*b*) effect of supercharging pressure p_{sup} (sections of curves 1, 2 correspond to ignition lag); (*c*) effect of cooling water temperature t_{cool}; (*d*) effect of oxygen content in air charge

شكل (٣ ــ ٧)





٣ ـ ٥ ـ ٢ : مرحلة الاحتراق السريع Rapid combustion

وهنا يتم الاشتعال الذاتى للوقود ويصحبه ارتفاع فى الضغط ودرجة الحرارة (يحدث التفاعل الكيميائى بين بخار الوقود والأكسيجين) وهذه المرحلة قصيرة ولكن يتولد فيها حوالى ٧٠% من الحرارة .

ومعدل ارتفاع الضغط خلال هذه المرحلة يعتمد على نوعية اشتعال الوقود ونسبة الانضغاط وطريقة تجهيز مخلوط الهواء والوقود فى المرحلة السابقة .

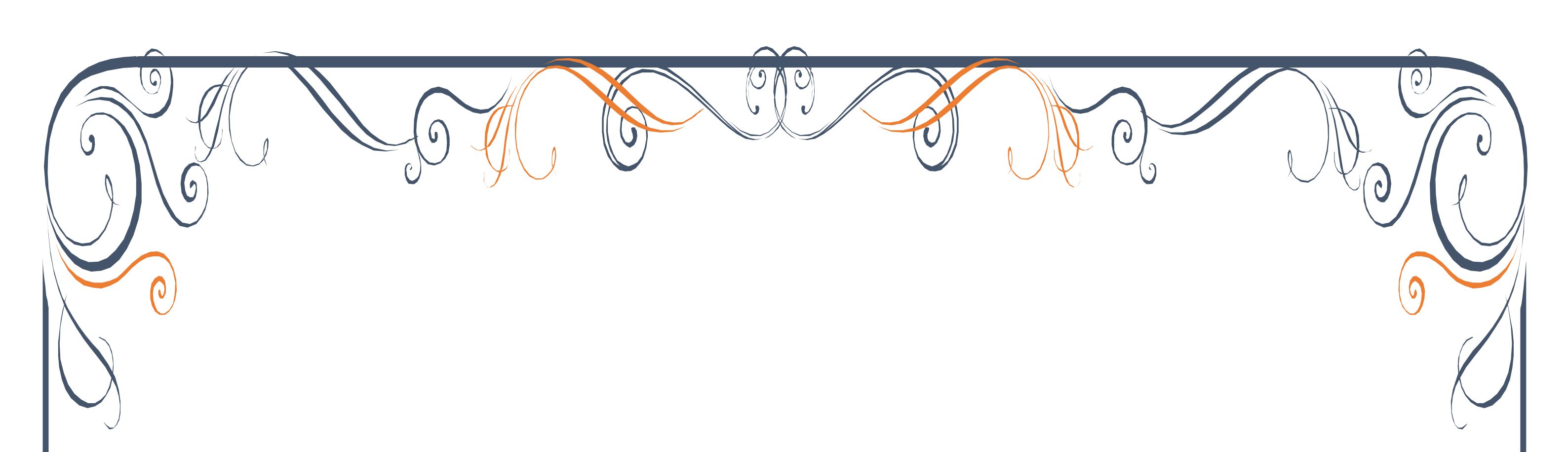
٣ ـ ٥ ـ ٣ : الخبط الناتج عن الوقود Fuel-knocking

يسمع أحياناً صوت عال من داخل اسطوانة محرك الديزل ، وسببه ازدياد الضغط فجأة وبمقدار كبير نتيجة اشتعال كمية الوقود التى تراكمت أثناء فترة التعوق ، ويسمى هذا الصوت خبط الوقود أو خبط الاحتراق Knocking وهو يقل كلما نقصت كمية الوقود المتراكم ، وذلك عندما يكون الوقود المستعمل ذو درجة عالية من نوعية الاشتعال ، فتقل بذلك فترة التعوق ولا يحدث هذا الخبط .

وبالرجوع إلى الشكل (٣ ــ ٦) نلاحظ أن معدل ارتفاع الضغط $\frac{dp}{d\varphi}$ فى المرحلة 2 – 3 يعتمد كلية على فترة التعوق وحركة الهواء داخل غرفة الاحتراق (الإثارة) فإذا زادت فترة التعوق فتتجمع كمية كبيرة من الوقود داخل الاسطوانه وتشتعل فجأة قرب ن.م.ع، وهى تعمل على زيادة قيمة $\frac{dp}{d\varphi}$ ويحدث ما يسمى ' بخبط الوقود ' Fuel-knocking .

٣ ـ ٥ ـ ٤ : مرحلة الاحتراق المقيد : Controlled combustion .

وفيها يكاد يكون الضغط ثابتاً ، وغالباً ما ينتهى الحقن Injection بانتهاء هذه المرحلة،ونظرياً يكون الحقن والحريق بمعدل معين للحفاظ على ثبوت الضغط ويتولد فى هذه المرحلة حوالى ٣٥% من حرارة الاحتراق ، وتصل درجة الحرارة t_{max} إلى أقصى ما يمكن.وقد يلى هذه المرحلة مرحلة أخرى تسمى After-burning period وتحدث أثناء نزول المكبس لأسفل حيث تتبخر أخيراً بعض جزيئات الوقود الثقيلة وتختلط مع الأكسيجين وتحترق ، ويجب إتمام ذلك قبل فتح صمام العادم وإلا سيؤدى إلى ظهور دخان بالعادم .



وربما يحدث تسييل بالرشاش Dribbling نتيجة الموجات التضاغطية المرتدة بشدة خلال الماسورة الموصلة بين مضخة الوقود والحاقن ، وتحقن كمية صغيرة من الوقود داخل الاسطوانة تحت ضغوط ضعيفة فلا تحترق تماماً ، ويخرج العادم وبه دخان أسود .

٣ ــ ٥ ــ ٣ مطالب الاحتراق الجيد : Requirements of good combustion

إن دلائل الاحتراق الجيد هى :

عادم لا لون له ــ الحصول على القدرات العادية من كل وحدة ــ درجات حرارة العادم للوحدات عادية ولا اختلاف بينها ــ سرعة المحرك ثابتة ــ لا يوجد خبط Knocking .

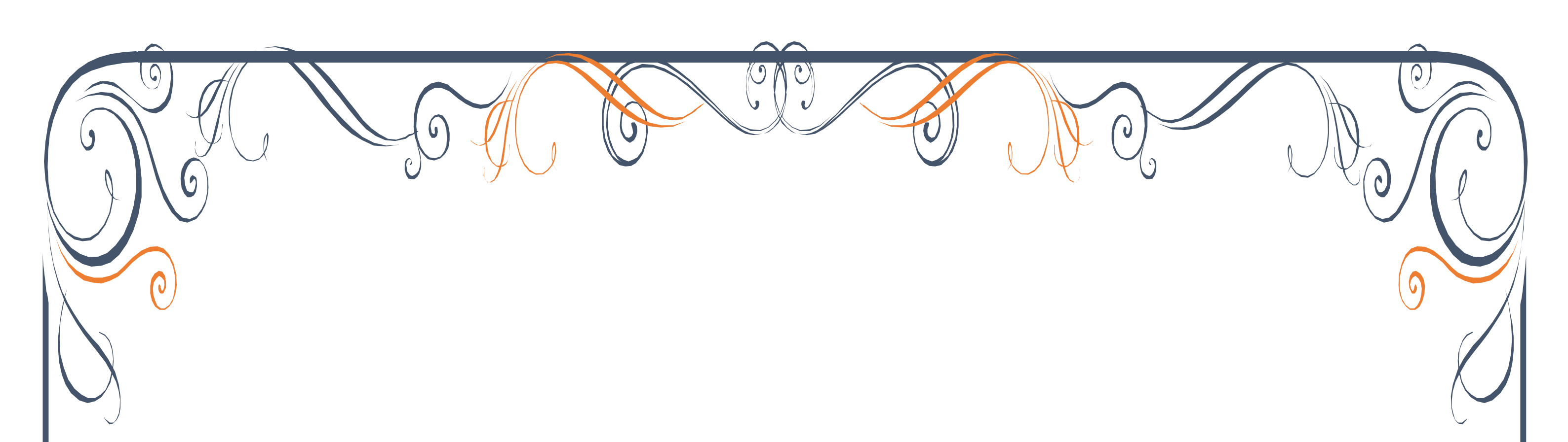
وللحصول على الاحتراق الجيد ، يجب أن تتوافر الشروط التالية :

أ- يكون الوقود باللزوجة المناسبة Viscosity عند الفونية وذلك لضمان التذرير الجيد Atomization ، وحيث أن اللزوجة تقل بالتسخين لذا وجب تسخين الوقود الثقيل إلى درجة حرارة معينة للحصول على اللزوجة المناسبة عند الفونية .

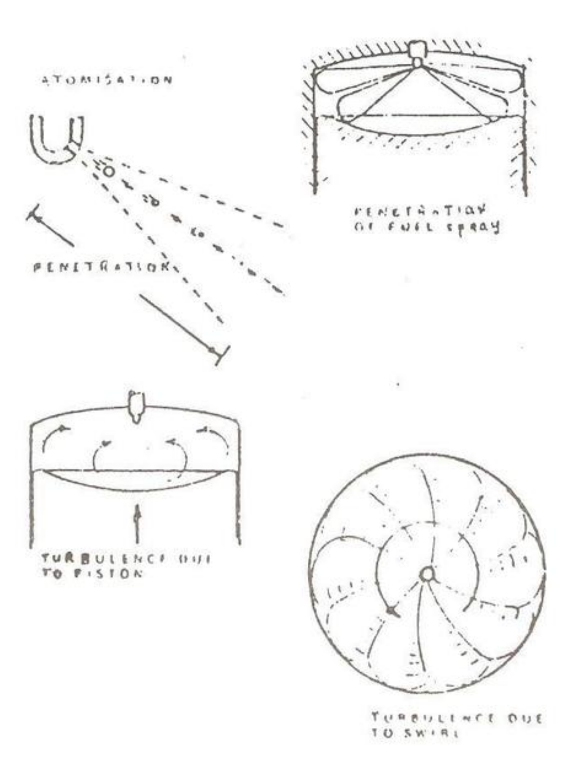
ب- التذرير الجيد Atomization : وهو تفتيت الوقود إلى جزيئات دقيقة ويتم ذلك بواسطة اندفاع الوقود بضغط عالى خلال ثقوب الفونية Nozzle holes. وحجم القطرة يعتمد على شكل وحجم الثقب والفرق بين ضغطى طلمبة الحقن Injection - pump والهواء المضغوط فى غرفة الاحتراق . وتمتاز القطرة بزيادة نسبة السطح / الكتلة ، وبارتفاع درجة حرارتها تتبخر وتختلط بالهواء المحيط بها مكونة مخلوط سريع الاشتعال .

ج- سرعة نسبية كافية بين قطرات الوقود وهواء غرفة الاحتراق ويعتمد على اندفاع الوقود ومقدار تخلله Penetration ، وهى المسافة التى تصلها قطرة الوقود فى غرفة الاحتراق قبل الاشتعال شكل (٣ ــ ٨) ويجب أن يتخلل الوقود جميع حيز الغرفة بدون الارتطام Impinge بالسطح .

د- الاندماج التام بين قطيرات الوقود وهواء غرفة الاحتراق ، ويعتمد على شكل الغرفة ودرجة الإثارة Turbulance-وهى حركة الهواء والوقود قبل حدوث الاحتراق ، وكلما زادت الإثارة تحسن الخلط والاحتراق ، وهى هامة جداً فى



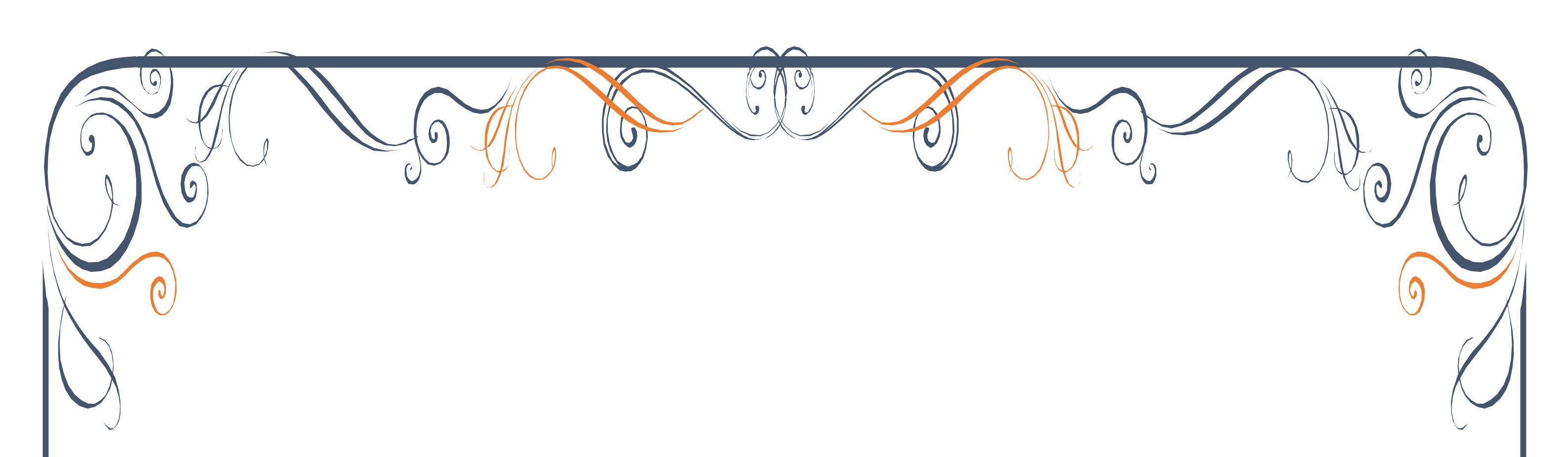
حالة احتراق الوقود الثقيل فى المحركات السريعة والمتوسطة السـرعة شكل (٣ ــ ٨) .



٥- شكل (٣ ــ ٨)

هـ- درجة حرارة الهواء المضغوط كافية للاشتعال الفورى ، وتتحكم فيها نسـبة الانضغاط ومقدار الشحن الجبري وأبعاد الاسطوانة ودرجة تبريدها .

و- أن يكون توقيت الحقن Injection - timing فى ميعاده الصحيح ، فإذا حقـن الوقود مبكراً ، فإن درجة حرارة الهواء قد لا تكون كافية للاشـتعال وبـذلك يتجمع الوقود داخل الاسطوانه ليشتعل فجأة ويسبب زيادة كبيرة فى الضـغط ويحدث الدق Knocking ، وإذا تأخر عن ميعاده الصـحيح فـإن احتـراق



الوقود لا ينتهى عند بداية شوط الشغل ، بل قد يستمر الاحتراق حتى تفتح صمامات العادم ، ويسبب فقد فى القدرة ويزيد استهلاك الوقود كما ترتفع درجة حرارة صمامات العادم ويظهر دخان مع العادم .

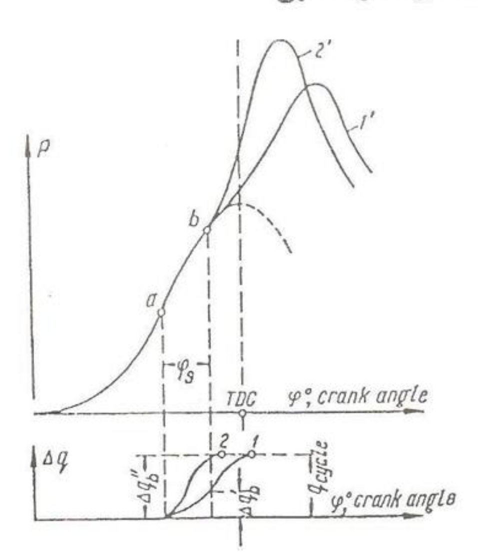
٣ ـ ٥ ـ ٦ ـ تأثير معدل حقن الوقود Effect of the nature of fuel delivery

لمعدل حقن الوقود Rate of fuel injection نفس الأهمية مثل توقيت الحقن ، فإذا تم حقن الوقود فى ميعاده الصحيح ، وكان معدل الحقن سريع ، فإنه ينتج حالة تشابه الحقن المبكر ، وبالعكس إذا كان توقيت الحقن صحيح وكان معدل الحقن بطئ ، فإن الحالة تتماثل مع حالة الحقن المتأخر .

ويعتمد معدل الحقن على شكل جانبية حدبة الوقود Cam-contour شكل (٣ ـ ٩) يوضح تأثير اختلاف معدل حقن الوقود على شكل المنحنى البيانى بين الضغط وزاوية المرفق (P - φ Diagram) هذا مع مراعاة ثبوت فترة التعوق .

ـ المنحنى (١) يتصاعد الضغط تدريجياً (تشغيل ناعم) لحدبة ذات انحدار بسيط للمحيط .

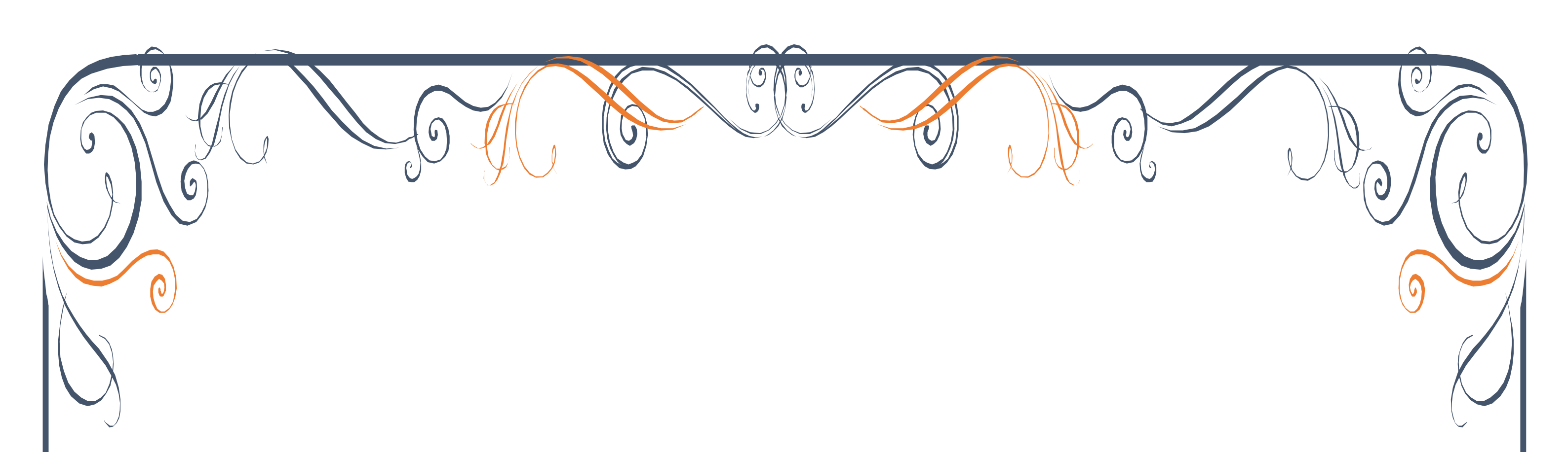
ـ المنحنى (٢) يتصاعد الضغط بسرعة (تشغيل خشن) لحدبة ذات انحدار شديد للمحيط .



Effect of the rate of fuel delivery .

شكل (٣ ـ ٩)

نسألكم من صالح الدعاء



ويلاحظ أنه لنفس بداية الحقن (a) تكون كمية الوقود Δ q أقل فى الحالة الأولى عنها فى الحالة الثانية عند بداية الاشتعال (b) .

الحقن المرشد : Pilot Injection

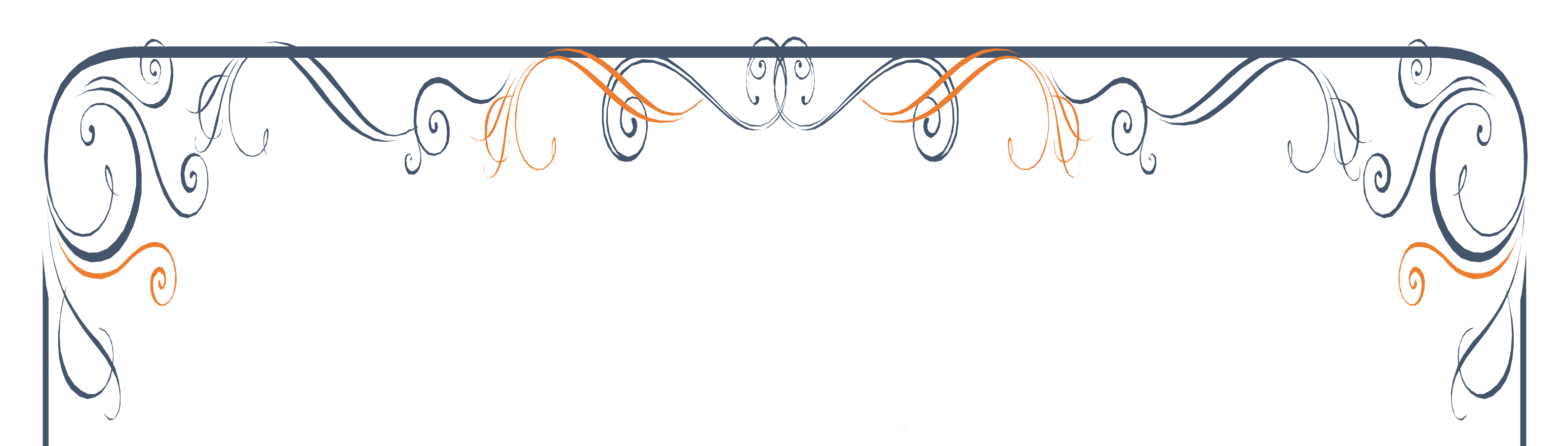
وقد استخدمت طريقة الحقن المرشد Pilot-Injection للتغلب على صعود الضغط الفجائى وحدوث خبط الوقود Knocking ، وعليه فقد أمكن حرق الوقود ذو نوعية الاشتعال المنخفضة بكفاءة فى المحركات المتوسطة السرعة والسريعة ودون حدوث الدق ، وتم تحقيق ذلك بطريقتين :

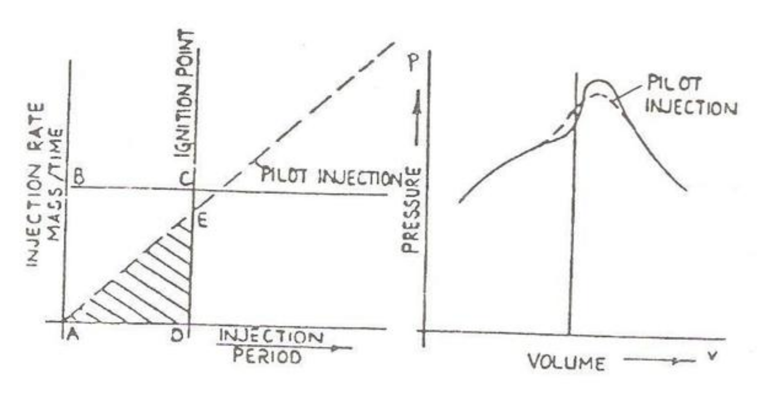
الطريقة الأولى ويمكن توضيحها كالآتى :

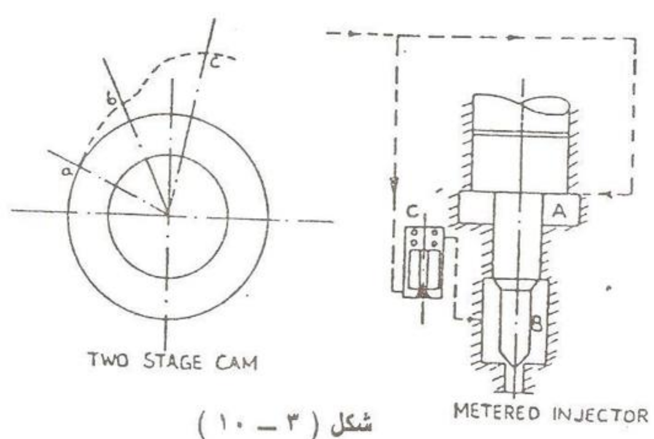
يتم أولاً حقن كمية صغيرة من الوقود فى الاسطوانه ليكون الاحتراق تدريجياً بدون ارتفاع فجائى للضغط ، ويتبعه حقن كمية الوقود الأساسية التى تشتعل مباشرة بدون فترة تعوق كما هو واضح فى شكل (٣ – ١٠) على منحنى (P – v) . ولذلك تستخدم حدبة ذات مرحلتين Two-stage cam يكون معدل الحقن بطئ من النقطة a إلى النقطة b يتبعه معدل سريع من النقطة b إلى النقطة c ، وفيها يحترق الوقود مباشرة . وتستخدم هذه الطريقة عادة مع حاقن معايير Metered- rise injection يصل الوقود الحيز (A) ويدفع الكباس لأعلى تدريجياً ويساعد فى ذلك تأثير ضغط الوقود فى الغرفة (B) والواصل إليه عن طريق الصمام الغير رجاع (C) وعند نهاية الحقن ينخفض الضغط مباشرة فى الغرفة (A) ويقفل الصمام الغير رجاع (C) بسرعة تاركاً خلفه حيز بضغط أقل مما يسبب تقليل الضغط فى الغرفة (B) وبذلك يمنع أى تسييل من الحاقن Dribbling .

الطريقة الثانية :

فتسمى بطريقة الحقن المزدوج Twin-Injection باستخدام حاقنين منفصلين للاسطوانة الواحدة ، الأول ذو ثقوب ضيقة ويحقن الوقود بضغط متوسط قبل الحاقن الرئيسى الذى يحقن بعده الشحنة الأساسية وبالضغط العالى .







شكل (٣ ــ ١٠)

٣ ـ ٦ الوقود الثقيل واستخداماته فى محركات الديزل البحرية

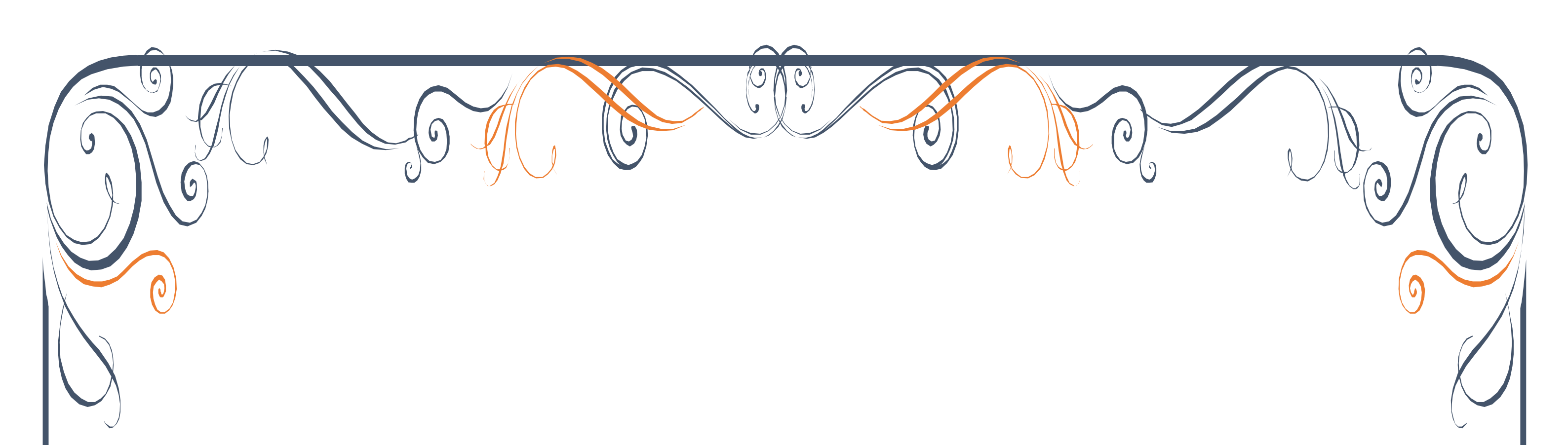
Residual fuel oils burning in motor ships

عند استخدام الوقود الثقيل لمحركات الديزل البحرية يلزم تحقيق مطلبين أساسيين :

١. تسخين الوقود إلى درجة الحرارة المطلوبة لإعطاء اللزوجة المناسبة عند الحاقن .

٢. تنقية الوقود تماماً قبل وصوله الحاقن للتخلص من المياة والشوائب العالقة .

إذا كانت اللزوجة عالية ، تكون كتلة قطرة الوقود الصغيرة كبيرة نسبياً ويحدث اختراق



زائد Over-penetration لهواء غرفة الاحتراق أى أنه لا يتم الاندماج المطلوب التام بين الوقود والهواء ، وعليه ينتج احـــتراق ردئ .Poor-combustion.

وإذا ارتطم الوقود Fuel-impinges بسطح تاج المكـبس ، يكــون اشـتعال الوقــود سطحى Surface ignition مما يسبب حرق سطح تاج المكبس .

وإذا كان ارتطام الوقود بسطح الجلبة يسبب ذلك تلف طبقة الزيت الموجودة مما يؤدى إلى زيادة النحر وقفش المكبس Piston seizure .

ولا يوجد دليل نظرى لتحديد اللزوجة المثالية التى تعطى أفضل احتراق للوقود الثقيل ، ولكن من الخبرة العملية وجد أن أفضل نتائج يمكن الحصول عليها عند تسـخين الوقــود لتكون اللزوجة حوالى ٦٥ : ٧٥ ثانية ريدوود عند ٣٨ ° ف والتى تعتبر تقريبـاً نفـس لزوجة الوقود الديزل عند درجة حرارة الجو .

وليكن معلوماً أن لزوجة الوقود تقل بسرعة بزيادة درجة الحرارة كما يتضح من الشكل (٣ ــ ١١) .

وكنظرة عابرة يمكن القول بأنه كلما زادت سرعة المحرك الديزل ، كلما كان من الأفضل استخدام الوقود ذات اللزوجة الأقل للحصول على الاحتراق الأفضل .

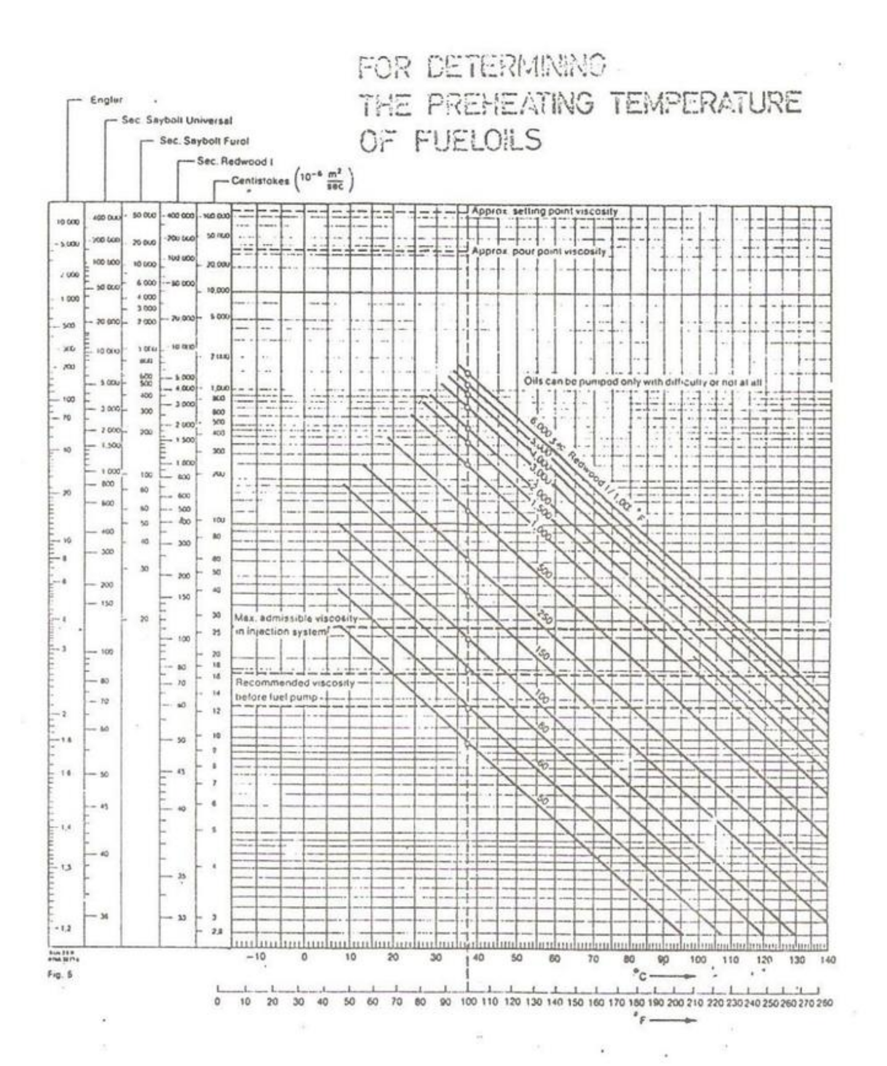
أما بالنسبة للمحركات الديزل الكبيرة ، ذات السرعات البطيئة فيسـتخدم الوقــود ذات اللزوجة ١٢٠٠ ثانية ريدوود عند درجة حرارة ٣٨ °م ، ويتم تسخينه إلى حوالى ١٠٥ °م لتقليل لزوجته إلى ٧٠ ثانية ريدوود ١ عند المنقيات .

وقد قامت الشـــــركات المصنعه للماكينات بتحديد أنسـب لزوجة للتشـــغيل والشكل (٣ ــ ١١) يوضح العلاقة بين اللزوجة ودرجات الحرارة لأنواع متعددة من الوقود .

ملحوظة :

جاء أخيرا في الملحق VI للمعاهده الدولية للمنظمة البحرية IMO لعام ١٩٩٧ لمنع تلوث الهواء الجوي من السفن ، بأن نسبة الكبريت لوقود السفن ، يجب الا يزيد عن ٤,٥ %

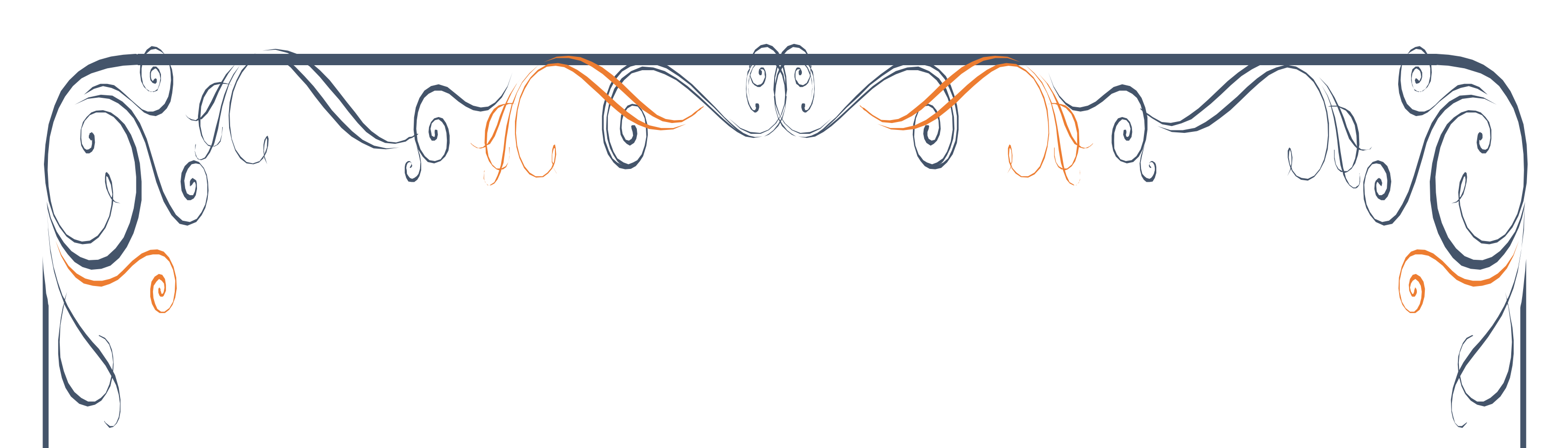




FOR DETERMINING
THE PREHEATING TEMPERATURE
OF FUELOILS
Engler
Sec. Saybolt Universal
Sec. Saybolt Furol
Sec. Redwood I
Centistokes
Approx. setting point viscosity
Approx. pour point viscosity
Oils can be pumped only with difficulty or not at all
Max. admissible viscosity in injection system
Recommended viscosity before fuel pump
Fig. 5
°C
°F

شكل (٣ ــ ١١)


نسألكم من صالح الدعاء



٣ ــ ٦ ــ ١ : تناول الوقود الثقيل : H.O. fuel handling

الوقود الثقيل ذات لزوجة عالية بطبيعته له القدرة على جر الشوائب معه مثل الصدأ من الصهاريج وقطرات المياه ويجعلها فى حالة عالقة . فإذا لم تزال تماماً قبل دخولها طلمبات الوقود أوالحواقن ، فإنها سوف تسبب مشاكل عديدة مثل الانسداد والنحر والتآكل . ولذلك فإنه أساسيا مطلوب عمل تنقية تامة للوقود لإزالة المياه والمواد الغريبة ويتم ذلك باستخدام المنقيات والفواصل Purifier / clarifiers وتفضل تلك التى تنظف آلياً

ويلاحظ أنه يجب فقط استخدام الوقود الثقيل فى الحالات التى يكون فيها الاشراف تام على تأدية الأعمال الإلزامية (التسخين إلى درجة الحرارة المناسبة واستخدام المنقيات) وإلا تحول الكسب نتيجة استخدام الوقود الثقيل الرخيص الثمن إلى خسائر نتيجة التوقف لإجراء أعمال الصيانة نتيجة انسداد الفوانى والنحر والتآكل بالجلب وتلف الصمامات وخلافه .

٣ ــ ٦ ــ ٢ : منظومات الوقود الثقيل : Residual fuel system

ويوجد نظامين :

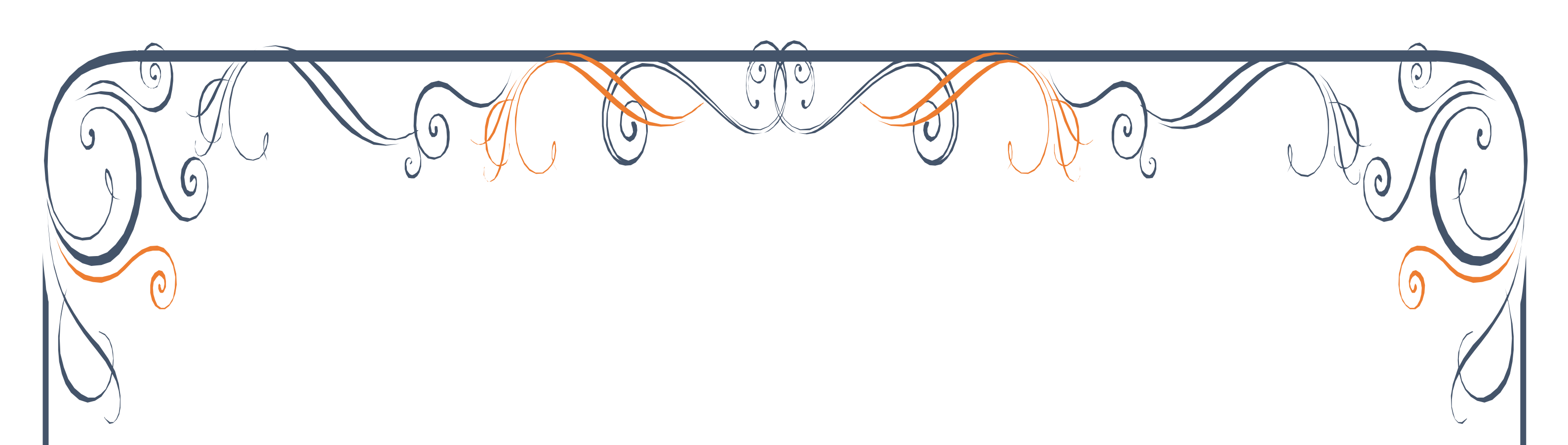
أولاً : استخدام الوقود الديزل فى بداية الحركة ويستمر التشغيل به حتى ترك الميناء ثم يتم التحويل على الوقود الثقيل حتى الوصول إلى الميناء ثانية ، حيث يتم التحويل على الوقود الديزل للمناورات وإلى الانتهاء منها ، وبذلك تترك الخطوط ملآنة بزيت الديزل لتجنب تجمد الزيوت الثقيلة .

ثانياً : استخدام الوقود الثقيل فقط ، وفى هذه الحالة تكون المنظومة أكثر تعقيداً،حيث يتطلب الأمر إعطاء عناية تامة للتسخين المستمر على طلمبات الحقن والحواقن والصهاريج والمواسير ذات الأقطار الصغيرة لتجنب التجمد ، هذا مع التسخين المستمر وتمرير الوقود فى المنظومة قبيل بدء الحركة بحوالى ٢,٥ ساعة .

٣ــ٦ ــ ٣ : منظومة وقود نموذجية لمحرك حديث يعمل بالوقود الثقيل والديزل

A typical heavy and diesel fuels system for modern engine

الشكل (٣ ــ ١٢) يوضح هذه المنظومة ويلاحظ أن التسخين مستمر من أول صهاريج القاع المزدوج إلى طلمبات الحقن وتشتمل على :



١ ـ صهريج الترسيب : Setting tank

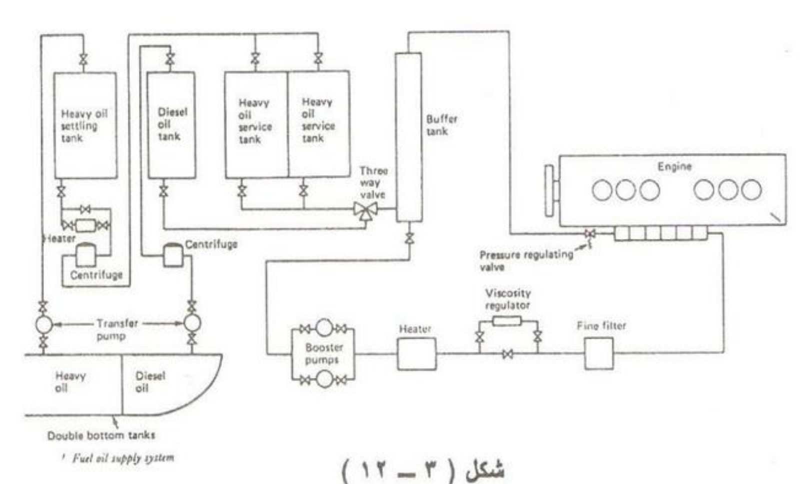
يحتوى على الوقود الواصل إليه من الصهريج المزدوج ، يجب أن تكون سعته أكبر من الاستهلاك اليومى عند التشغيل على الحمل الكامل ، ومنه يتم تغذية صهاريج الخدمة اليومية عن طريق المسخنات والمنقيات .

٢ ـ صهريج الاستهلاك اليومى : Daily service tank

يملأ بالوقود الذى تتم تنقيته ، ويراعى أن يكون أعلى من قاع صهريج الخلط لضمان السريان .

٣ ـ صهريج الخلط : Buffer-tank or mixing-tank

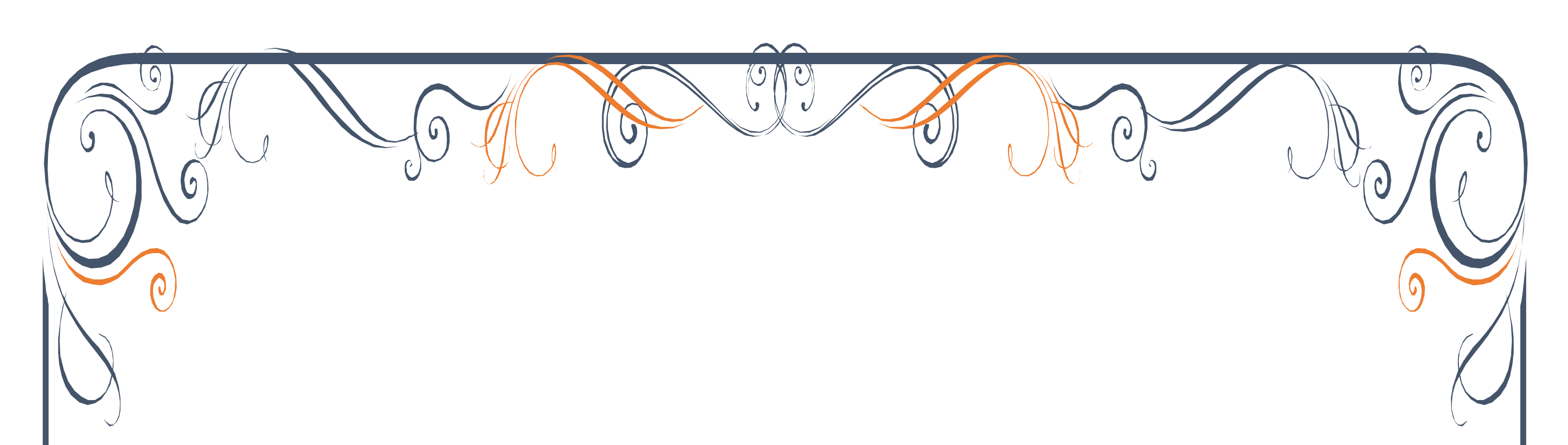
يعادل درجة حرارة الوقود الراجع من طلمبات الحقن والوقود الواصل من صهريج الاستهلاك اليومى ، وكذلك فإنه يجعل الانتقال تدريجى من الوقود الثقيل إلى الوقود الخفيف والعكس ، وذلك بالنسبة للزوجة ودرجات الحرارة ، ويزود الصهريج بمصيدة بخار الماء المتكثف .



شكل (٣ ـ ١٢)

٤ ـ منظم اللزوجة : Viscosity regulator

تزود المنظومة عادة بجهاز قياس لزوجة الوقود وضبطها قبل دخوله طلمبات الحقن ـ وهذا الجهاز يعمل آلياً ليتحكم فى درجات حرارة المسخنات .



٥ ــ مضخات الرفع : Booster pumps

تدفع الوقود بضغط حوالى ١٠ بار وبمعدل سريان أكبر من المطلوب إلى مضخات الحقن ، وهذا يمنع تكون الأبخرة أو الهواء عندها ، ويجب أن تثبت أسفل صهريج الخلط .

٦ ــ صمام تنظيم الضغط : Pressure-regulating valve

يقوم بتثبيت ضغط الوقود فى الخط .

وسائل الأمان :

وتزود المنظومة بوسائل الأمان مثل : إنذار عند نزول الضغط ، إنخفاض المستوى فى الصهاريج ، صمامات الغلق السريع ويتم غلقها من خارج غرفة الماكينات ــ التحكم من بعد فى تشغيل وإيقاف المضخات . وكذلك منظم اللزوجة ليحافظ على ثبوت اللزوجة بالتحكم تلقائيا فى السخانات،كما تحتفظ مواسير الضغط العالى بغلافين.

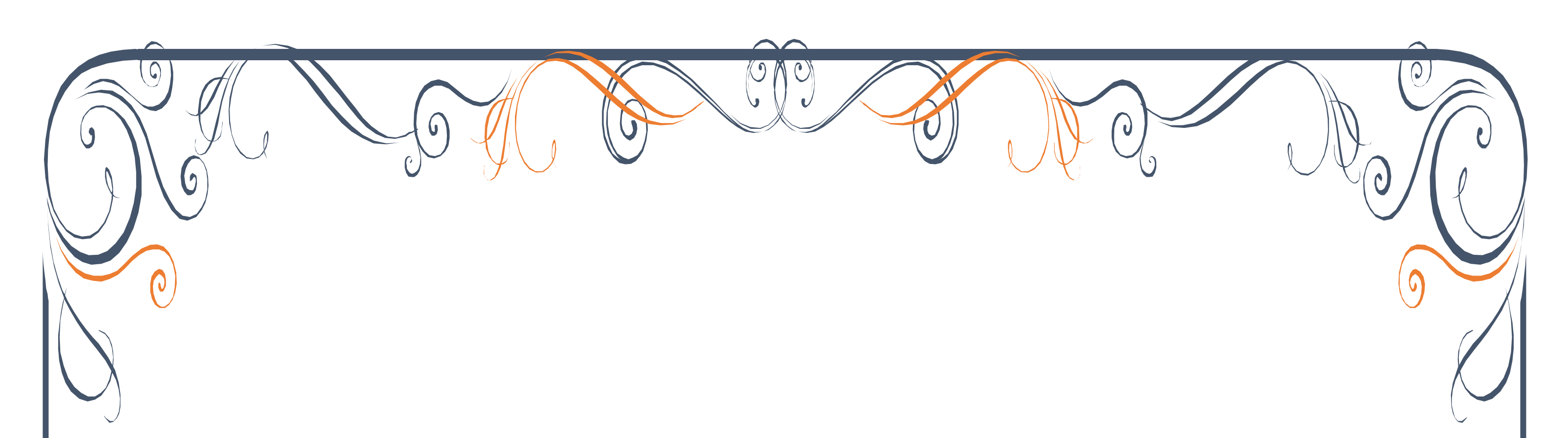
معالجة الوقود الثقيل: Fuel oil treatment

تعمل حالياً جميع المحركات الديزل البطيئة والمتوسطة السرعة على الوقود الثقيل (H.F.O.) وبلزوجة تصل إلى 700 C.st . أى تساوى 7000 S.R.N.1 at 38°، ولإمكانية التوصل إلى النظافة الكافية لهذا الوقود (التخلص من المياه والملوثات) يجب أن يكون الوزن النوعى أقل من ٠,٩٩ عند درجة حرارة ١٥ ° م ، ولكن يمكن تعدى هذا الرقم إلى ١,٠١ إذا توافرت المنقيات الحديثة مثل ALCAP على السفينة .

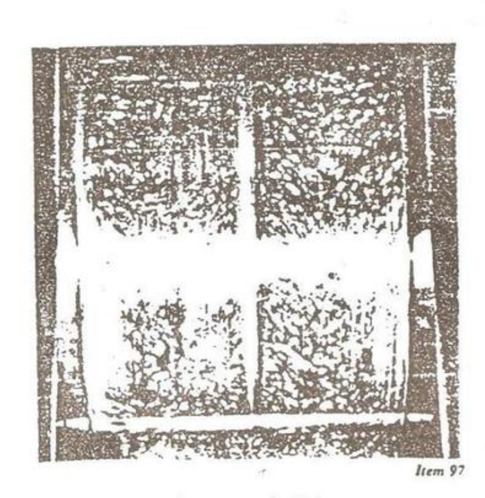
٣ ــ ٦ ــ ٤ : المشاكل التى تخلق باستخدام الوقود الثقيل

Problems created by burning of residual fuel :

١. نسبة الكبريت لمثل هذه الأنواع من الوقود عالية وتصل إلى حوالى ٥% بالوزن ، وهى تسبب تآكل جلبة الأسطوانة والشنابر ، كما أنها تعمل على زيادة تآكل مواسير العادم ومواسير الغلايات التى تعمل بالعادم إذا قلت درجة الحرارة عن نقطة الندى .



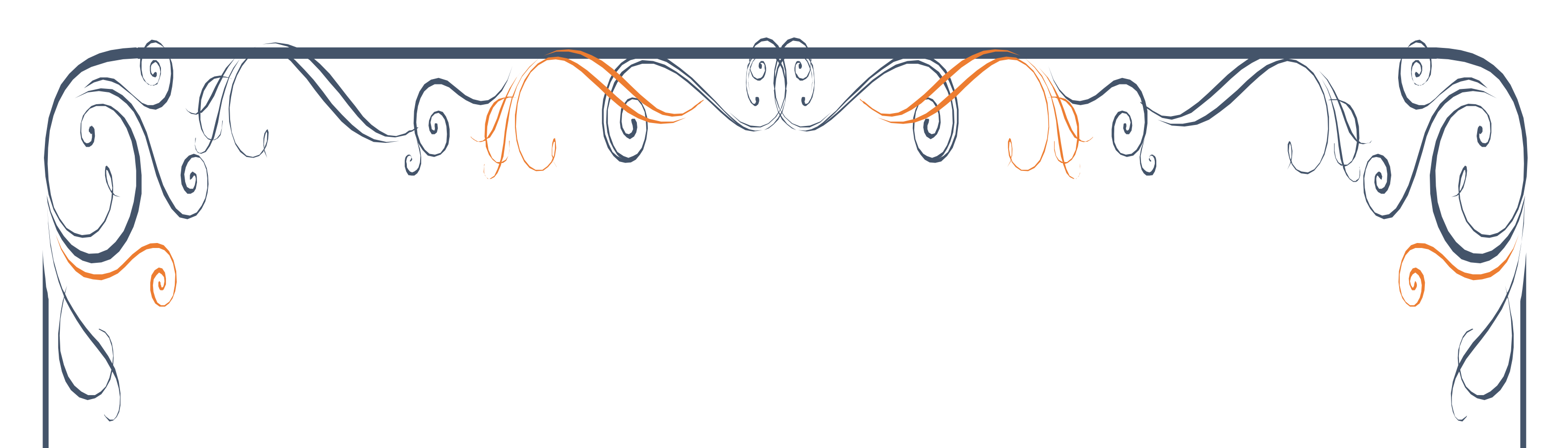
٢. عند هروب بعض غازات الاحتراق التى تحتوى على غاز ثـانى وثالـث أكسـيد الكبريت إلى صندوق المرفق ، يتكون حامض الكبريتيك الذى يسـبب تلـف لقـم الكراسى تماماً Corrosive Pitting (شكل (٣ ـ ١٣)

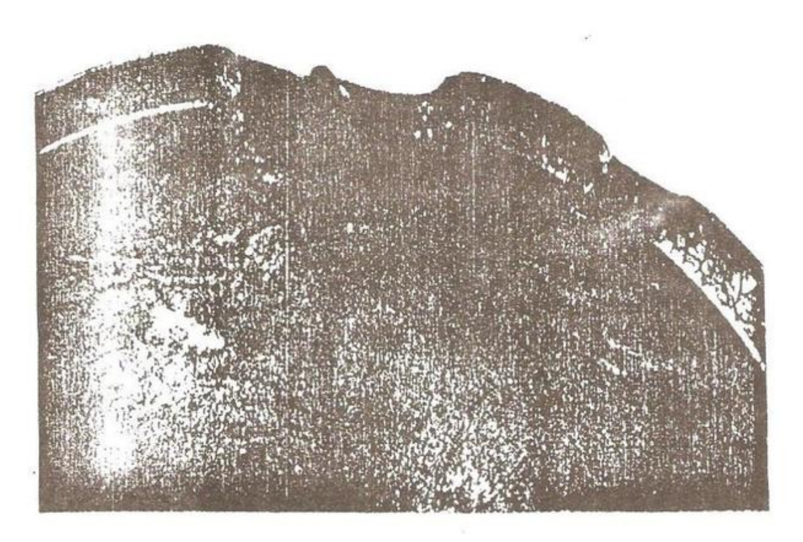


شكل (٣ ـ ١٣)

٣. الرماد الذى يحتويه الوقود الثقيل سواء ذائب أو عالق يعمل على زيادة البرى بين شنابر المكبس والجلبة وكذلك فى مضخات حقن الوقود وإذا زادت نسبة الرمـاد عن ٠,٠٢% يعتبر الوقود ملوث ويفضل عدم استخدامه فى المحركات الديزل .

٤. يعمل الفاناديوم والصوديوم الموجود بالوقود الثقيل على اتلاف قواعد صـمامات العادم سواء بالتآكل عند درجات الحرارة العالية (التى تزيـد عـن ٦٠٠ °م) High-temperature corrosion أو بتكـوين مركـب صـلب مـن الفانـاديوم والصوديوم يتسبب فى شرخ قواعد الصمامات وتكوين منفذ لغازات الاحتراق ذات الضغـط ودرجة الحـرارة العالية مما يعـرض الصمـامات إلى التلف التام (أنظر شكل ٣ ـ ١٤) .

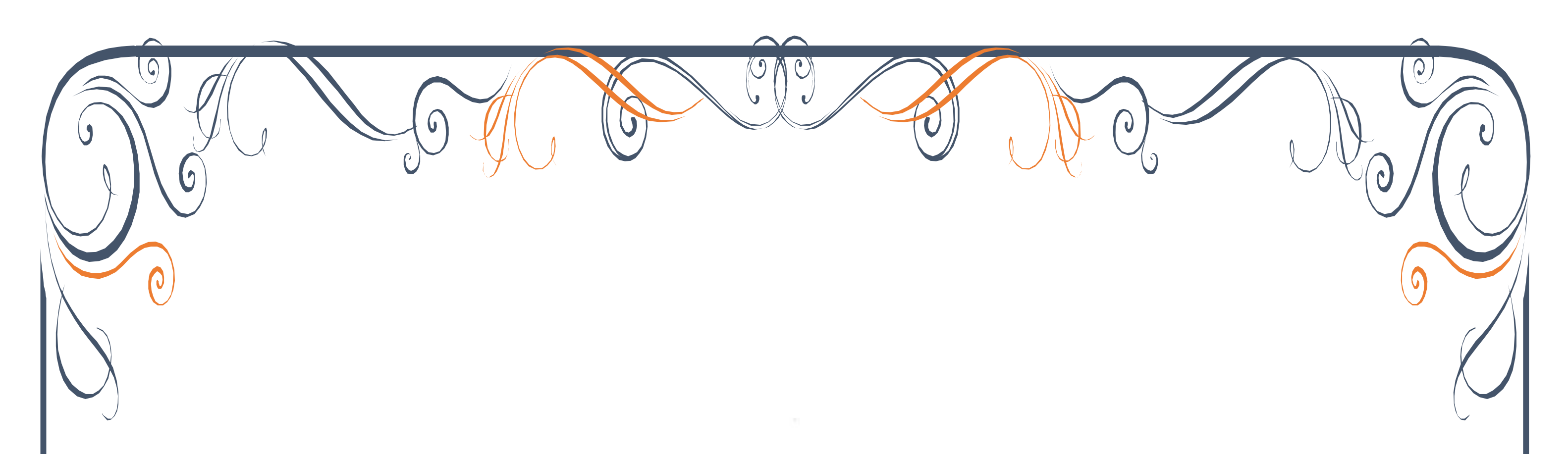




شكل (٣ ــ ١٤)

٥. أما مشاكل فوانى الرشاشات فهى كثيرة عند استخدام الوقود الثقيل ، ويمكن تعليل ذلك كما يلى :

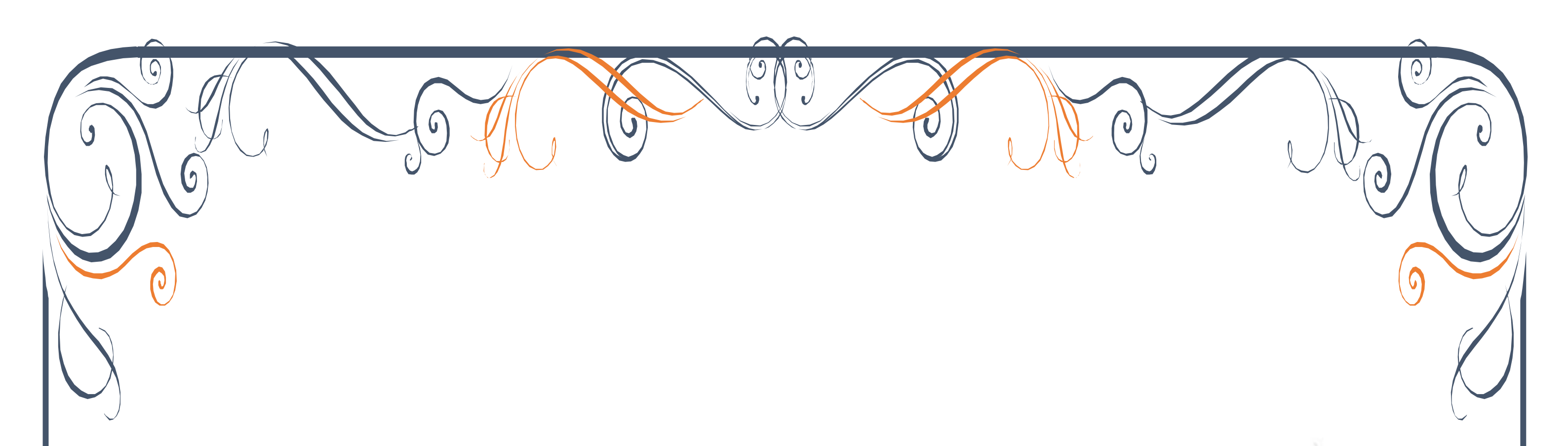
أن بطء احتراق الوقود الثقيل يعمل على ارتفاع درجة حرارة فوهة الفونية مما يساعد على تكسير ذرات الوقود Fuel-cracking عند تذريرها وتتبخر الأجزاء الخفيفة،ويتبقى على الفوهة الأجزاء الثقيلة والرماد ، مما يسبب انسداد الثقوب شكل (٣ ــ ١٥) ولذلك كان حرص الصناع على تبريد فوهات الرشاشات بالماء أو الوقود . ولكن يجب مراعاة أن زيادة التبريد قد تؤدى إلى الوصول إلى نقطة الندى لغازات ثانى وثالث أكسيد الكبريت وتكون حامض الكبريتيك الذى يسبب تآكل موضعى على فوهة فونية الرشاش .

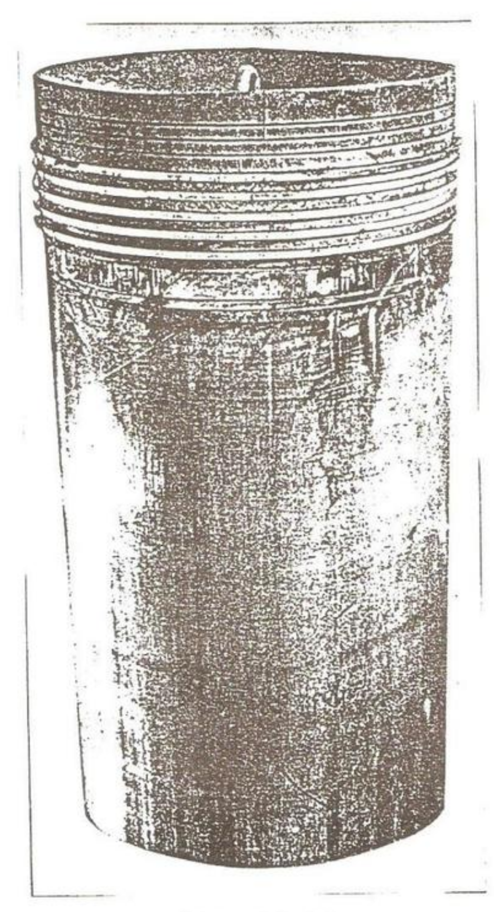




—Formation of carbon trumpets.
شكل (٣ ــ ١٥)

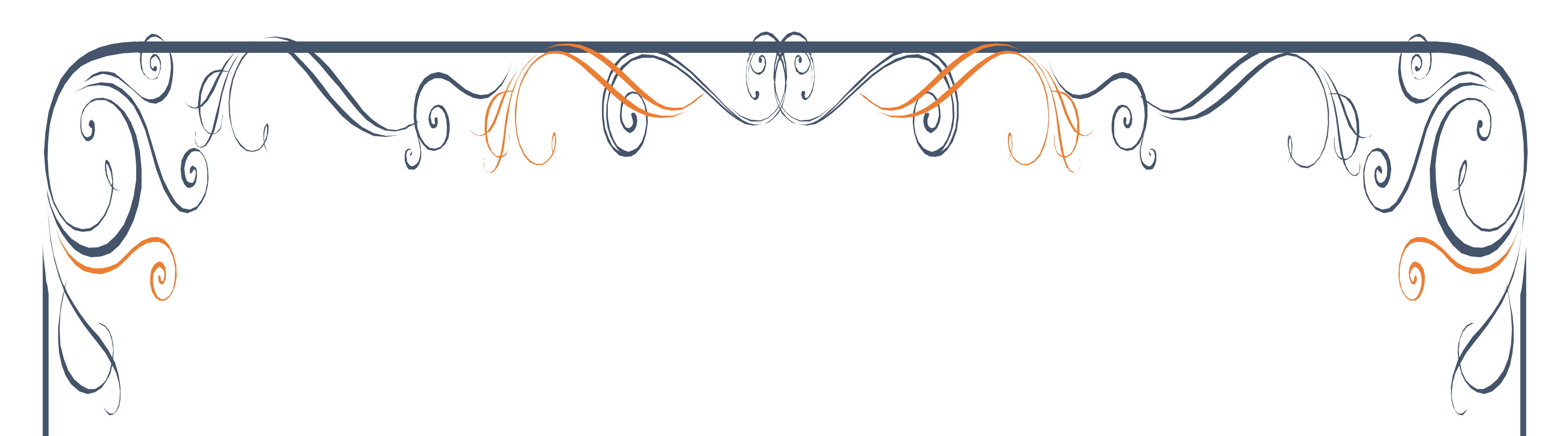
٦. بالرغم من إتباع الإجراءات المشددة لتنظيف الوقود الثقيل من الشوائب ومراعاة توقيت الحقن السليم ليس ممكناً حرق الوقود الثقيل تماماً ، بل تتكون بعض النهايات الثقيلة لذرات الوقود Heavy-Ends والرماد ، ويتم هروب جزء كبير منها مع غازات العادم إلا أن بعضها يتخلل مجموعة الشنابر ويسبب حرق طبقة الزيت ويساعد على قفش حلقات المكبس وزيادة التفويت والنحر (شكل ٣ ــ ١٦) ولذلك يراعى عادة في حالة التشغيل بالوقود الثقيل استخدام زيوت تزييت الاسطوانات ذات إضافات لتطهير وتشتيت هذه الرواسب Detergents and dispersants .





شكل (٣ ــ ١٦)

ملحوظة : نظراً لوجود هذه المشاكل ، وحرصاً على زيادة فترات الصيانة الدوريـــة ، فقد قامت الشركات الصانعة بتحديد الحدود القصوى المسموح بها للشوائب التى يحتويهـا الوقود الثقيل ــ أنظر جدول (٣ ــ ١٧) .



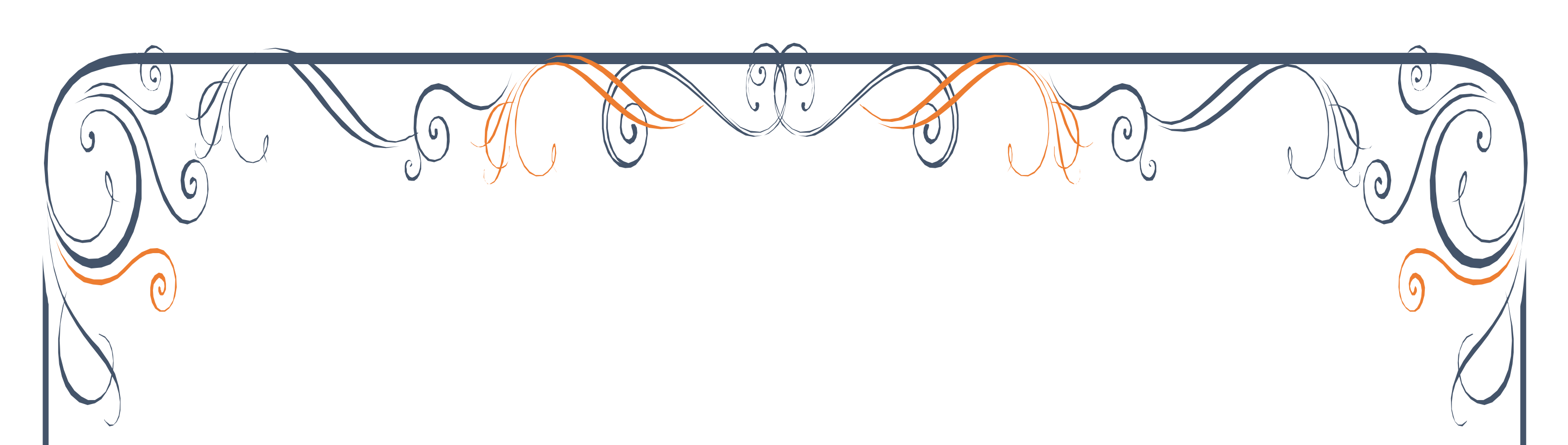
Permissible Fuel Oils for SULZER Diesel Engines on Marine & Stationary Service

Engine Type	Speed r.p.m.	Kind of Service	Maximum Viscosity Sec. Rodw 1 / 100 ° F	Approx Density kg/dm^3	Maximum Sulphur Content %weight	Maximum Vnadium Content p.p.m	Maximum Sodium Content r.p.m	Maximum Conradson residue %weightt	Marine Ceten Number
T/ TA 36	250 - 300	Marine Stationary	500 6000	0.92 0.98	2.5 3-4	100 100	30 30	5 10	40 40
T / TA 48	225 -257	Marine Stationary	2500 6000	0.95 0.98	2-3 3-4	100 100	30 30	7 10	40 40
T 56	155	Marine Stationary	2500	0.95	2-3	100	30	7	40
Z 40 / 48 (2 Stroke)	450	Marine Stationary	3500 3500	0.98 0.98	3.5 3.5	150 150	50 50	10 10	40 40
Z 40 / 48 (4 Stroke)	500-530	Marine Stationary	3500 3500	0.98 0.98	3.5 3.5	150 150	50 50	10 10	40 40
RD RF	119 – 215	Marine Stationary	6000 6000	0.99 0.99	5 5	300 300	100 100	15 15	25 25
RND RNF	108 – 150	Marine Stationary	6000 6000	0.99 0.99	5 5	300 300	100 100	15 15	25 25

1 - The figures given in the above table must regarded as the upper acceptable limit .

It is preferable to use fuel of better quality .

شكل (٣ ــ ١٧)



ويلاحظ أنه يجب ألا تزيد نسبة الفاناديوم عن 300p.p.m. والصوديوم عن 100 p.p.m. – ولا يقل الرقم السيتينى عن ٤٠ بالنسبة للمحركات الديزل المتوسطة السرعة و ٢٥ بالنسبة للمحركات البطيئة السرعة .

٣ – ٦ – ٥ : استخدام الإضافات للوقود الثقيل :

زاد الاهتمام بهذا الموضوع للتغلب على مشاكل استخدام أنواع الوقود ذات الجودة المنخفضة ، وزيادة معدل الأداء لأجزاء المحركات ، وتقليل معدلات الصيانة .

ولتفهم الدور الذى تقوم به هذه الإضافات ، فيمكن تقسيمها إلى ثلاث مجموعات كالآتى:

أولاً : إضافات لتجهيز الوقود قبل الاحتراق وتشتمل على :

أ- مخففات اللزوجة ونقطة التدفق : ونسبتها تتراوح بين ٠,٠١ : ٠,٠٢% وهى ضرورية فى حالة التشغيل فى الأجواء الباردة وفى حالة التسخين إلى درجة حرارة أقل من المطلوب .

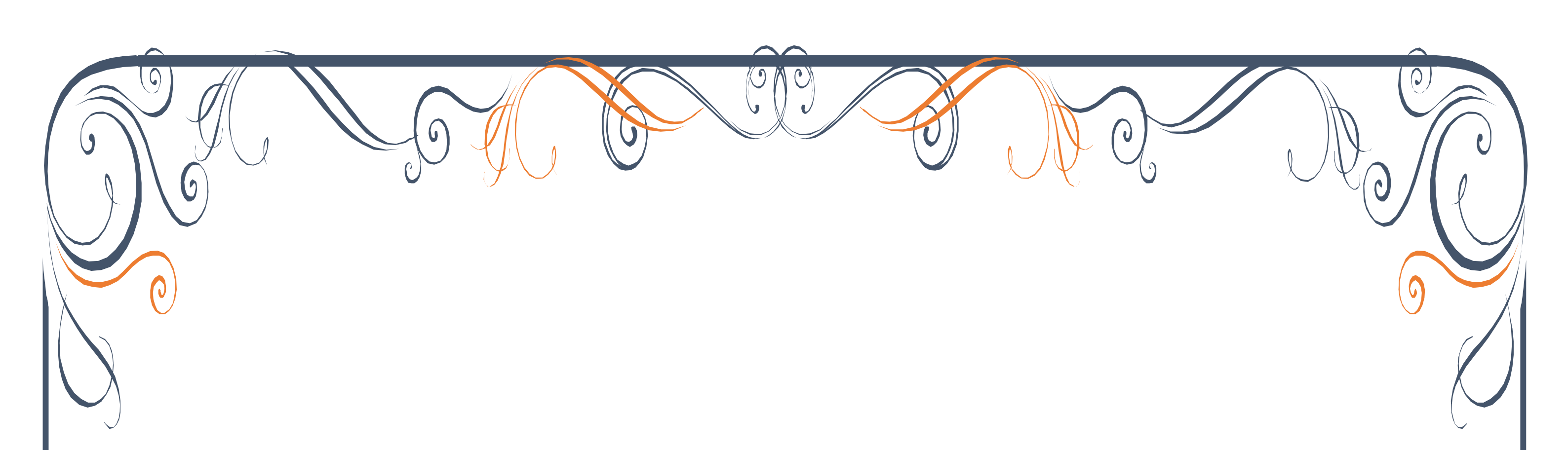
ب- المشتتات Dispersants : وتوضع بدرجة تركيز صغيرة حوالى٥ : ١٠ جزء فى المليون .

ج- موانع التآكل بالصدأ : وتوضع لمنع تآكل الصهاريج والمواسير وهى ذات أهمية خاصة فى المناطق الاستوائية .

د- موانع نمو الفطريات والبكتيريا Bio cides : وهى مشتقات من مركب الفينول وتوضع بدرجة تركيز صغيرة من ٥ : ٢٠ جزء فى المليون لتمنع نمو الفطريات والبكتيريا التى تؤثر على كفاءة أداء المضخات والفلاتر والمنقيات .

هـ- موانع الاستحلاب وهى تسهل عملية فصل المياه عن الوقود فى صهاريج الترسيب والفواصل .

و- مخفف الوحل (موانع التأكسد أو الموانع الصمغية) وهى تمنع عملية التشمع وتساعد على ترسيب المواد الأسفلتيه التى تميل إلى التكتل وتعمل على انسداد الفلاتر ، ولذلك يستخدم مستحضر يسمى تجاريا Gamlenol تعمل على تجزئة المواد الأسفلتية إلى جزيئات صغيرة يمكن فصلها .



ثانياً : موانع التآكل أثناء التشغيل Corrosion inhibitors

وهى إضافات لمنع التآكل عند درجات الحرارة المنخفضة وأخرى لمنع التآكل عند درجات الحرارة العالية .

أ- لمنع التآكل عند درجات الحرارة المنخفضة: ويتم ذلك بإضافة بعض المواد القلوية (كربونات الكالسيوم) وبهذا تمت مقاومة التآكل بتأثير الكبريت .

ب- لمنع التآكل عند درجات الحرارة المرتفعة : ويتم ذلك بإضافة المركب Diesel MS حيث يتفاعل مع أكاسيد الفاناديوم والصوديوم ويجعلها فى صورة بودرة يتم طردها مع غازات العادم .

وقد أثبتت هذه العملية جدارتها حيث أطالت فترة تشغيل صمامات العادم إلى ١٢,٠٠٠ ساعة .

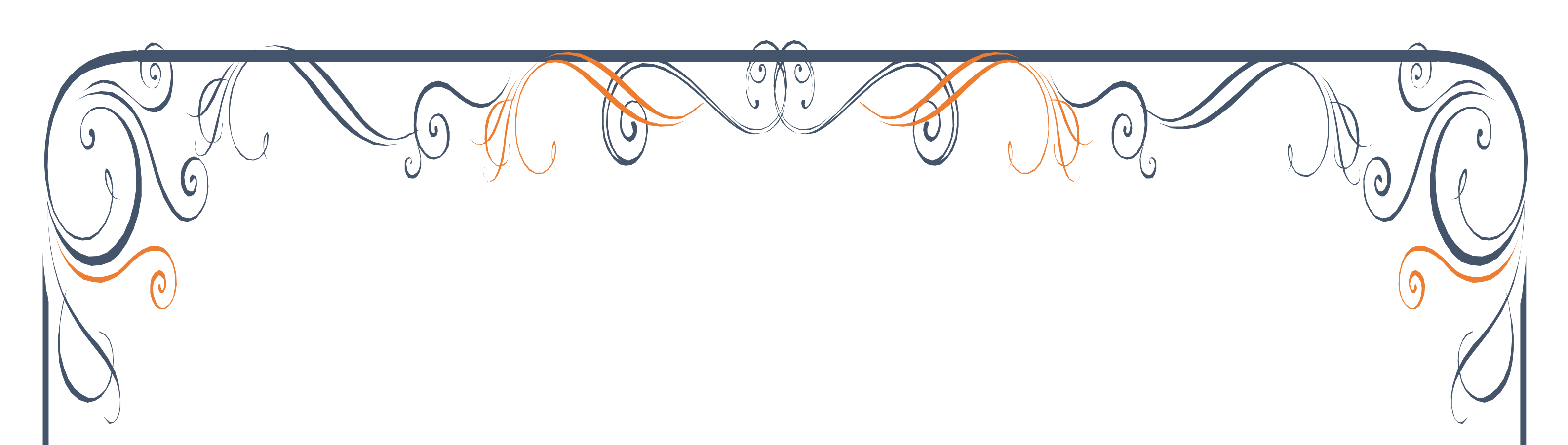
ثالثاً : حوافز الاحتراق : Combustion catalysts

وهى عبارة عن محسنات للوقود المتخلف (الثقيل) المستخدم لمحركات الديزل ، برفع الرقم السيتينى وتحسين الكفاءة الحرارية وخفض الدخان بالعادم ، وكميتها تتراوح بين ٠,٤ إلى ١ كجم /طن .

كما توجد إضافات أخرى مثل Dieselol /1268 وهى مركبات يمكن إذابتها فى الوقود فتعجل أكسدة الذرات الكربونية ، وبذلك تتم عملية الاحتراق بعد الاشتعال بسرعة ، وعليه تقل نسبة الكربون والهباب بالعادم فيقل اتساخ الشواحن التوربينية ومواسير العادم وانبعاث أكاسيد نتروجينيه .

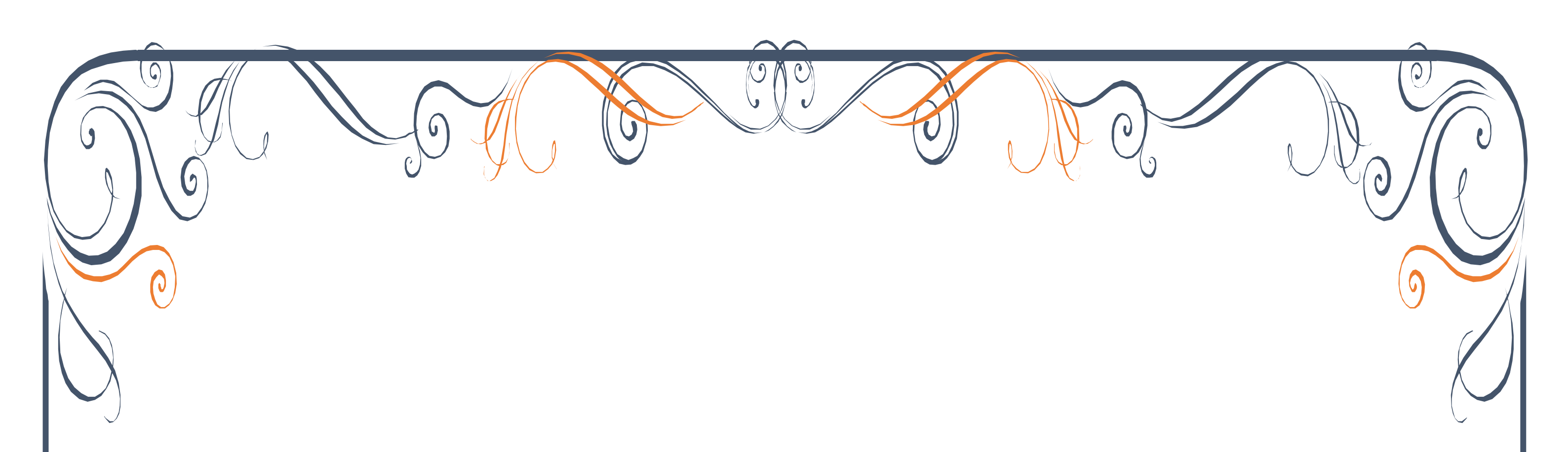
ملحوظة :

يجب قبل استخدام الإضافات المشار إليها استشارة المنتج أو المتخصص وعمل الدراسة اللازمة للتوصل إلى أحسن النتائج .



أســـئلة

١ ــ عرف ما يأتى بالنسبة لوقود محركات الديزل :
اللزوجة ــ درجة الوميض ــ القيمة الحرارية .
٢ ــ أكتب معادلات الاحتراق لوقود المحرك الديزل ، واحسب كمية الهواء النظرية اللازمة لاتمام عملية الاحتراق .
٣ ــ ما المقصود بنوعية الاشتعال ؟ وكيف تتحدد ؟
٤ ــ عرف : الرقم السيتينى ــ دليل الديزل ــ ما الفرق بينهما ؟
٥ ــ ما هى فترة التعوق ؟ ناقش العوامل التى تؤثر عليها .
٦ ــ إشرح عملية الاحتراق فى المحرك الديزل .
٧ ــ تكلم عن الدق الناتج عن الوقود فى اسطوانة محرك الديزل .
٨ ــ ما هى الاشتراطات الواجب توافرها للحصول على الاحتراق الجيد فى اسطوانه محرك ديزل ؟
٩ ــ أذكر دلائل الاحتراق الجيد فى محرك ديزل بطئ واكتب ما تعرفه عن
Turbulence – Atomization – Penetration – Impingement .
١٠ ــ ما المقصود بالحقن المرشد ؟ والأسباب التى دعت إلى استخدام هذه الطريقة ؟
١١ ــ أذكر سببين أساسيين لتسخين الوقود الثقيل قبل الحقن . وما تأثير عدم التسخين الجيد على أداء المحرك ؟ .
١٢ ــ أذكر ما يجب اتباعه عند استخدام الوقود الثقيل فى محركات الديزل البحرية .
١٣ ــ ارسم منظومة الوقود التى تعمل بالوقود الثقيل والديزل ، واشرح أجزائها .
١٤ ــ ناقش المشاكل الى تتعرض لها أجزاء المحرك الديزل باستخدام الوقود الثقيل .
١٥ ــ ما هو تأثير أستخدام الوقود المتخلف (الثقيل) فى محركات الديزل البحرية بالنسبة لما يأتى :
أ) التآكل بالنسبة لقميص الاسطوانه .
ب) فوانى الحقن جـ) تلف صمامات العادم .
١٦ ــ لماذا يجب ألا تزيد نسبة بعض العناصر الغريبة فى الوقود عن حد معين ــ ما هذه العناصر وما مقدارها ؟



حقن الوقود Fuel-injection

تتكون أجهزة الحقن أساساً من طلمبات الحقـن Fuel-injection pumps وصـمامات الحقن Injectors ومواسير الضغط العالى .

ويستخدم على السفن أجهزة الحقن ذات الطلمبات المستقلة وتعمل الطلمبة علـى رفـع ضغط الوقود ومعايرته وتوقيت الحقن ، وهى إما أن تكون مفرده، أى كلاً منها مثبت بجانب الاسطوانة الخاصة بها وتتصل بصمام الحقن ــ أو تكون مجمعة فى جسم واحد يحتوى على عدد من الطلمبات يساوى عدد اسطوانات المحرك وتتصل كل منها بصمام الحقن (كما فى حالة المولدات Diesel generators .

ولبيان مدى الدقة التى تعمل بها هذه الأجهزة يجب معرفة الآتى –

إذا فرضنا أن المعدل النوعى لاستهلاك الوقود ١٥٠جم / حصان . سـاعة ، والقـدرة الحصانة للوحدة ٤٠٠٠ حصان ، وعدد اللفات ١٠٠ لفة / دقيقة ، ومدة الحقن ٢٠ درجة من زوايا دوران عمـود المرفق . فإنها يجب أن تحقن مثلاً ١٠٠ جم من الوقـود فـى ١/٣٠ ثانية وبضغط يزيد عن ٨٠٠ بار .

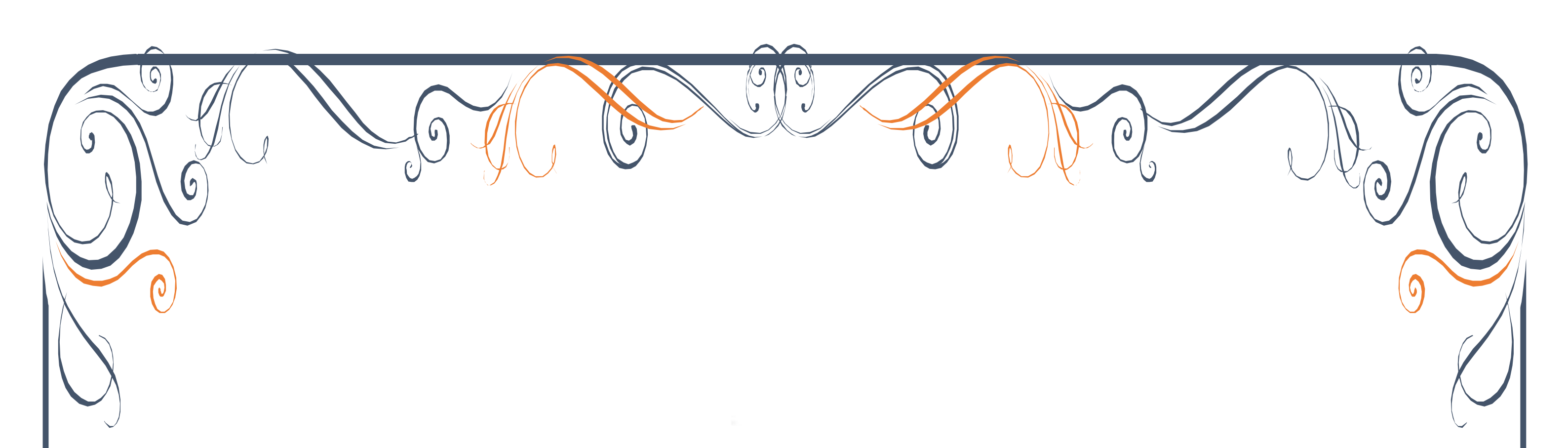
ولما كانت الضغوط والسرعات التى تعمل عليها هذه الطلمبات كبيرة فلمنع التسرب يقلل الخلوص بين المكبس واسطوانته، ويتم التوفيق بينهما بالتحضين حتى يصـبح الخلـوص حوالى ٠,٠٠٥ مم ولا يجوز استبدال أحدهما دون الآخر .

٤ ـ ١ المطلوب من جهاز حقن الوقود

Requirements of injection system

أ ـ معايرة الوقود Fuel metering

ويقصد بها تثبيت كمية الوقود الموزعة إلى كل اسطوانه من اسطوانات المحـرك عند حمل معين، وبذا نضمن عمل المحرك بسرعة منتظمة وبقدرة فعلية متسـاوية لكل اسطوانه .



ب ــ ضبط ميعاد الحقن أو توقيت الحقن : Injection timing

ويقصد به بدء حقن الوقود فى اللحظة المطلوبة من الدورة الحرارية ، حتى يمكن الحصول على أجود احتراق وأعلى كفاءة فيتحقق الاقتصاد فى الوقود .

وليكن معلوماً أن الحقن المبكر يؤدى إلى خبط ــ والحقن المتأخر يؤدى إلى ارتفاع درجة حرارة العادم ويكون لون العادم أسود ، علاوة على أنه يزيد من استهلاك الوقود .

جـ ــ ضبط معدل الحقن : Rate of fuel injection

إن معدل حقن الوقود له نفس تأثير أهمية ضبط التوقيت ، فلو كان ميعاد بدء الحقن مضبوط ومعدل الحقن سريع فتكون النتيجة مشابهة تماماً لحالة الحقن المبكر ، ولو كان معدل الحقن بطئ فتكون النتيجة مشابهة تماماً لحالة الحقن المتأخر .

د ــ تذرير الوقود إلى جزيئات صغيرة : Atomization

التجزئة التامة للوقود تعجل من بدء عملية الاحتراق وتسبب سرعة تبخر الوقود ، حيث تعرض مساحة أكبر من جزيئاته إلى الهواء .

وللحصول على درجة جيدة من التذرير ، يجب على مضخة الحقن المستعملة أن تسرع فى رفع ضغط الوقود إلى ضغط الحقن ، كما يجب أن تعمل على ثبات ضغط الحقن طول فترة الحقن ، وهذا النوع من المضخات يكسب الوقود عجلة مفاجئة أثناء سريانه داخل المواسير ولذا فتسمى هذه المضخات (بالمضخات النابضة) .

٤ ـ ٢ كيفية التحكم فى كمية الوقود

Controlling the amount of fuel

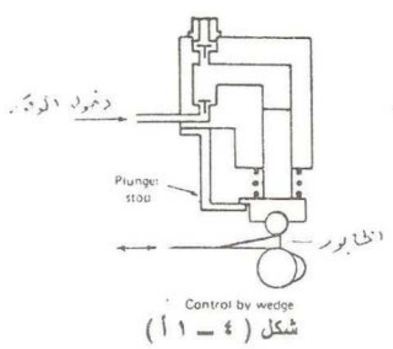
يمكن تغيير كمية الوقود المحقونة بالطرق التالية :

١ ــ تغيير مشوار الكباس بواسطة خابور :

طبقاً لوضع الخابور يمكن تغيير مشوار الكباس ، ويتغير هذا الوضع بواسطة منظم المحرك . شكل (٤ ــ ١ أ)



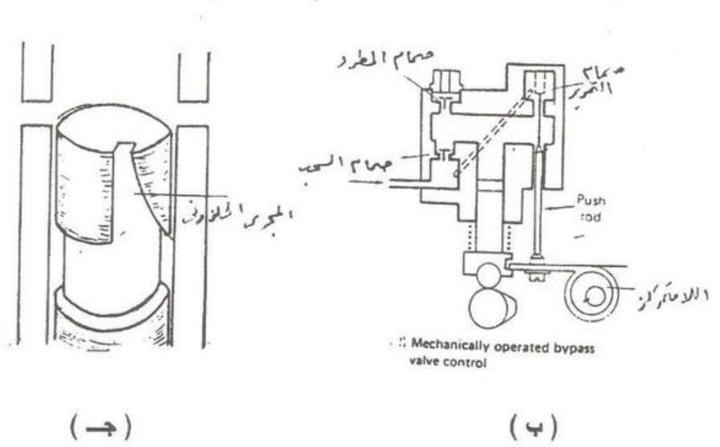




شكل (٤ ــ ١ أ)

٢ ــ تغيير المشوار الفعال للكباس بالتحكم فى صمام التمرير By- pass

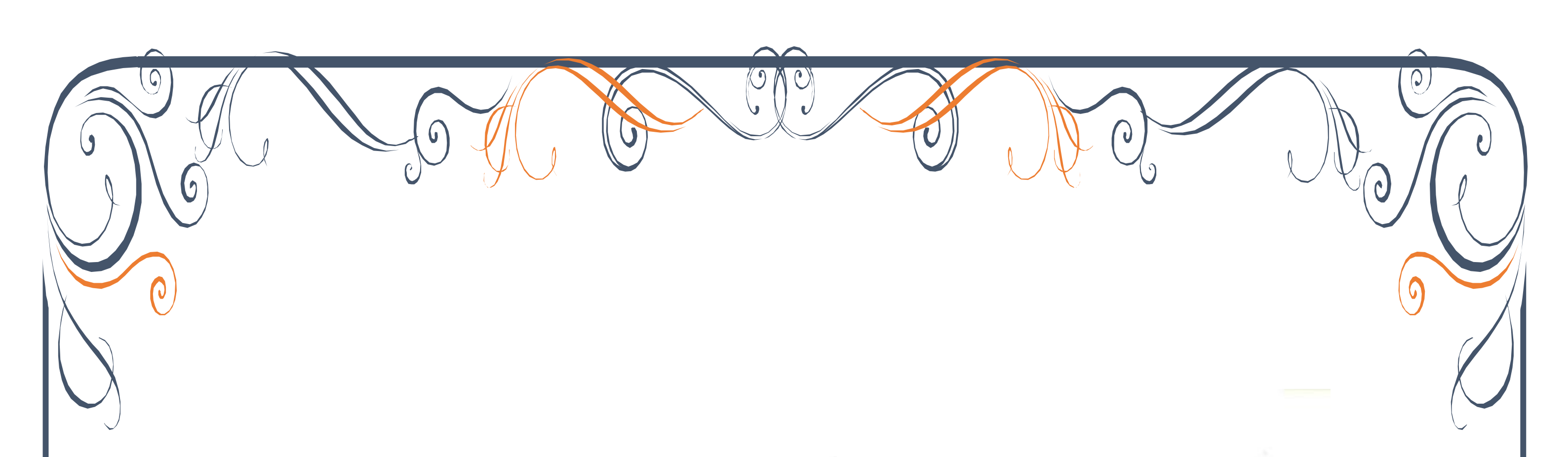
ويوجد بهذه المضخة ثلاث صمامات (السحب ، الطرد ، التمرير) عندما يفتح صمام التمرير باتصاله بعمود الدفع ، يتوقف ضخ الوقود ويعود ثانية إلى السحب ، أى أن المشوار الفعال يعتمد على توقيت فتح صمام التصريف، ويتحكم فيه اللامتمركز Eccentric شكل (٤ ــ ١ ب)



(جـ) (ب)

شكل (٤ ــ ١ ب ، جـ)





<u>٣ ــ تغيير المشوار الفعال للكباس بتصريف الضغط بالفتحات</u> : Spill action

بصعود الكباس تقفل الفتحات ويبدأ ضخ الوقود، ويستمر ذلك حتى تقابل المجرى الحلزونية فتحة التصريف ، وعليه فإن المشوار الفعال يعتمد على وضع الكباس بالنسبة لفتحة التصريف (شكل ٤ ــ ١ جـ)

<u>وتنقسم نظم التحكم طبقاً لبداية ونهاية الحقن إلى :</u>

<u>أ ــ بداية ضخ ثابتة</u> Constant beginning

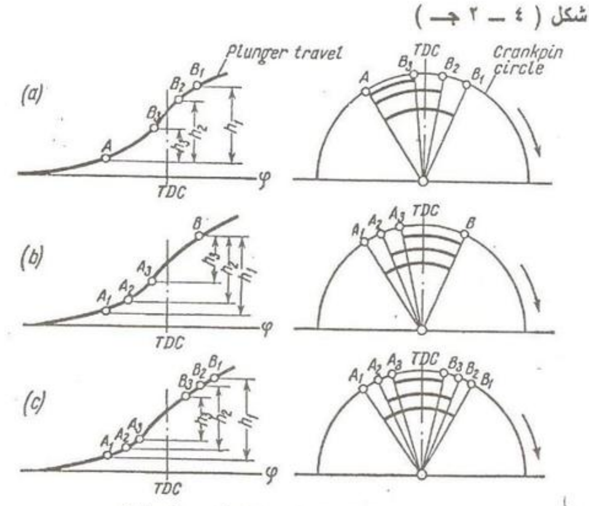
أى أن وقت قفل الفتحات ثابت وهى بداية الحقن، ويتم تنظيم المشوار الفعال Effective stroke بتغيير ميعاد نهاية الحقن شكل (٤ ــ ٢ أ)

<u>ب ــ بداية ضخ متغيرة</u> Variable start of delivery

ويتم تنظيم المشوار الفعال بتغيير بداية الحقن شكل (٤ ــ ٢ ب)

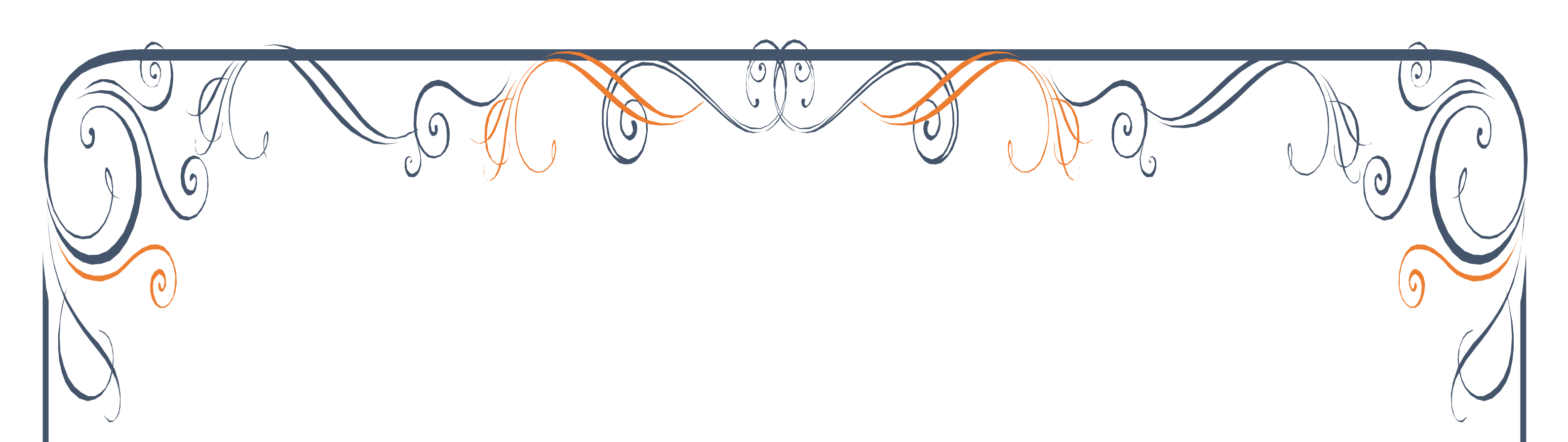
<u>جـ ــ تحكم مزدوج</u> (بداية ونهاية متغيرة) With combination adjustment

شكل (٤ ــ ٢ جـ)

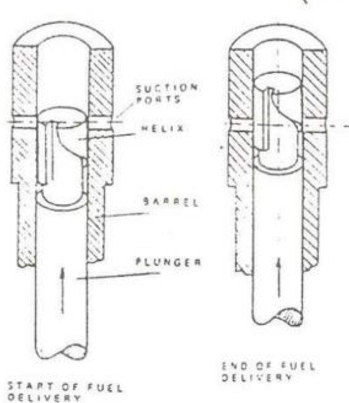


. Adjusting effective stroke of fuel pump plunger:
A—beginning of delivery; B—end of delivery; A_1, A_2, A_3—adjustment of delivery beginning; B_1, B_2, B_3—adjustment of delivery end for plunger stroke lengths h_1, h_2 and h_3

شكل (٤ ــ ٢)



وتتبع مضخات بوش Bosch نظام البداية الثابتة ، ويتم التحكم فى نهاية المشوار الفعال عند مقابلة المجرى الحلزونية Helical groove لفتحة التصريف، كما هو واضح فى شكل (٤ ــ ٣)



شكل (٤ ــ ٣)

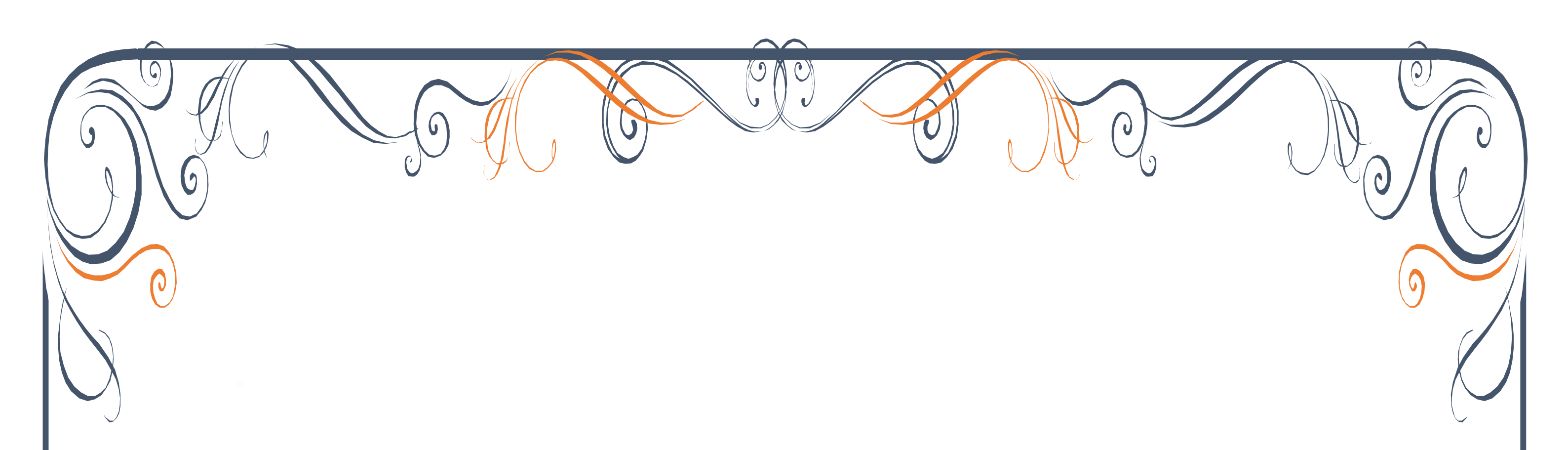
ويلاحظ أنه يعتبر الحقن مبكراً فى حالة الحمل الجزئى Part- load مما يسبب ارتفاع ضغط الاحتراق وما يترتب عليه من تأثير ضار .

ــ وفى حالة المضخات التى يتم تنظيم التحكم فى بداية الحقن بتغيير ميعاد قفل صمام السحب ، فيظهر بوضوح عيب هذا النظام عند الأحمال الجزئية ، حيث يؤدى إلى انخفاض ضغط الاحتراق والكفاءة، معاً وارتفاع درجة حرارة العادم .

ــ وقد استخدم أخيراً نظام البداية والنهاية المتغيرة Double control بعدة طرق منها استخدام كباس خاص كما يتضح فى شكل (١٤ - ٢٢) وهى مستخدمة فى عدة محركات متوسطة السرعة .

<u>ملحوظـــة :</u>

١. يراعى فى تصميم حد كامة الوقود أن تعطى عجلة للكباس أثناء بداية الحقن بغرض رفع ضغط الوقود بسرعة لتترك أبرة الحاقن قاعدتها فجأة ويتم التذرير بدون تسييل، ويفضل نزول الضغط كذلك بسرعة عند انتهاء الحقن وذلك للغرض نفسه .

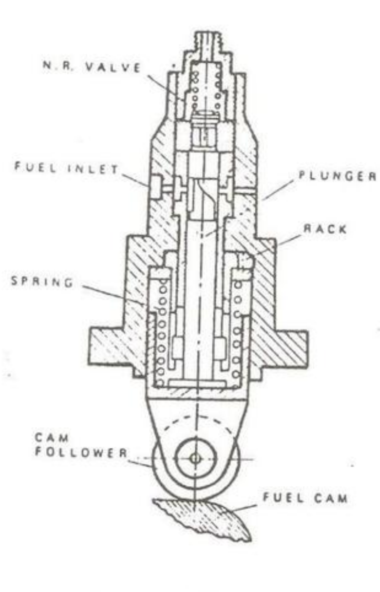


٢. للتغلب على عيوب نظم الحقن فى حالات الأحمال الجزئية والسابق ذكرها فقد تم تطوير نظام الحقن بادخال وسـائل التحكم Variable injection timing (V.I.T) لتغيير نقطة بداية الحقن لتناسب الحمل . كما قامت أيضاً شـركة M.A.N. بتطوير نظـام الحقـن العـادى إلـى نظـام الـتحكم الإلكترونـى Electronically controller injection-system وسترد فيما بعد الدراسات التفصيلية كما يتضح فى شكل (١٧ ـ ١٢) ، (١٧ ـ ١٩) .

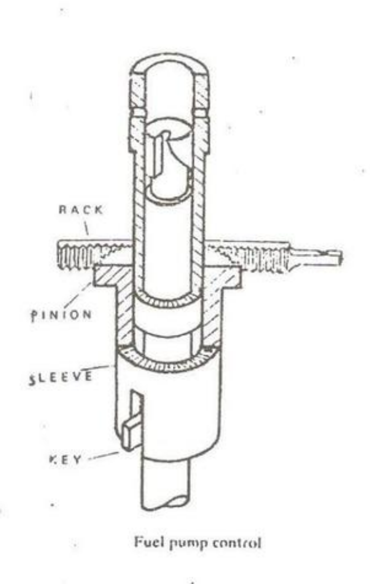
٤ ـ ٢ مضخات الوقود

Fuel pumps

ويوجد عدة أنواع من المضخات ، سـنكتفي هنا بشـرح واحدة من كل من النوعين " بوش " و " سولزر " .

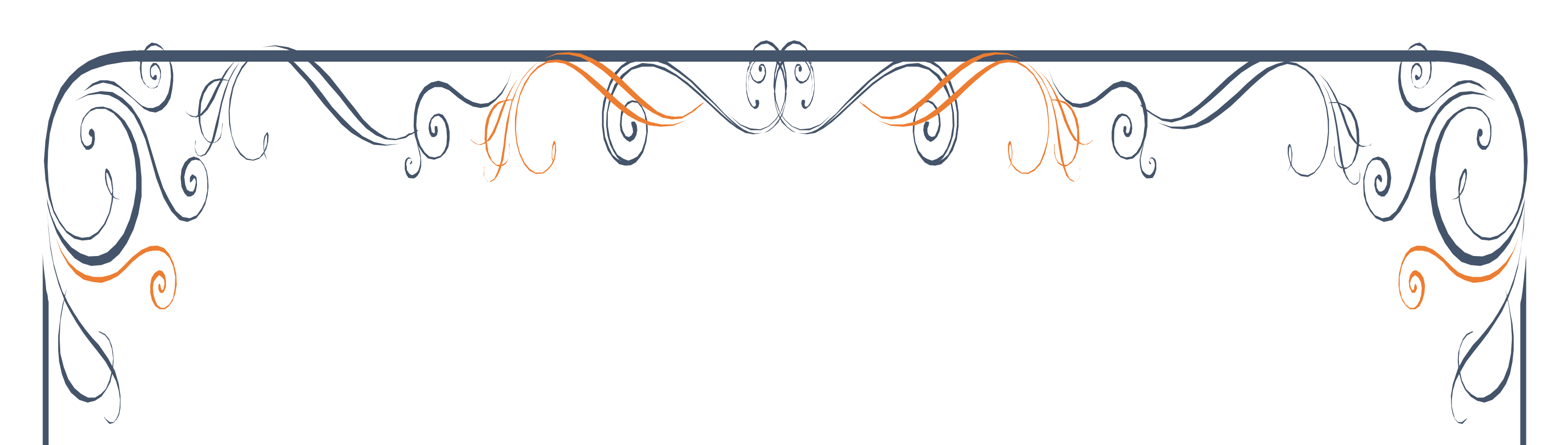


شكل (٤ ـ ٥)



شكل (٤ ـ ٤)

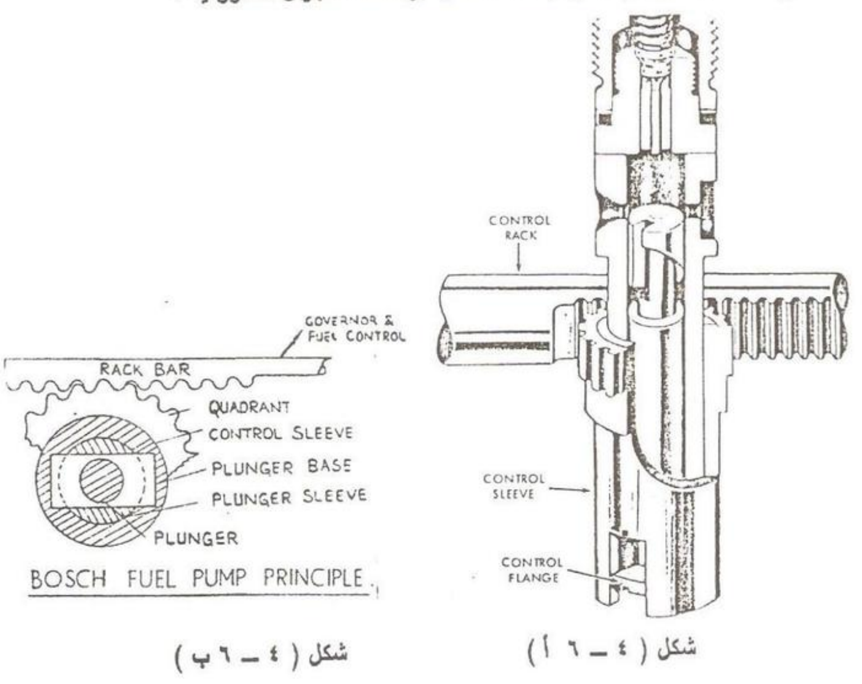




٤-٣-١ : **مضخة بوش** Bosch pump (شكل (٤ ـ ٤) و (٤ ـ ٥)

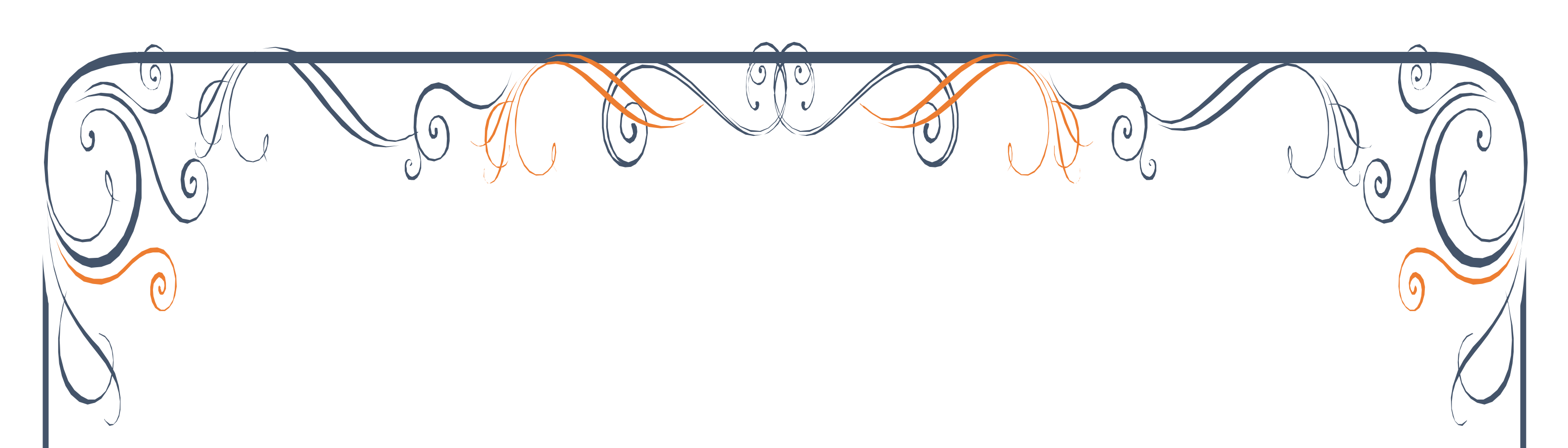
وهى شائعة الاستخدام فى كثير من محركات الديزل ، وتعمل المضخة بتأثير حدبة على مكبس ذات مشوار محكم التوفيق مع اسطوانته وبطرفه العلوى مجرى حلزونية ، وتستخدم يايات لارجاع المكبس لأسفل وللمحافظة على استمرار اتصال التابع بالكامة .

ويبدأ ضخ الوقود عند بداية ثابتة وهى عندما يقفل المكبس فتحات السحب، وينتهى الضخ عندما يتصل حيز الطرد بفتحة السحب بواسطة المجرى الحلزونية .



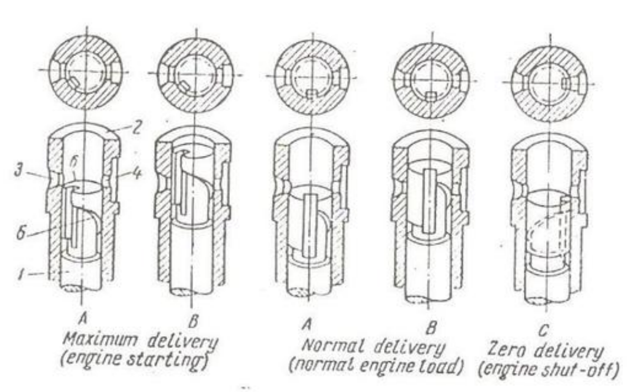
شكل (٤ ـ ٦ أ) شكل (٤ ـ ٦ ب)

ويتم التحكم فى كمية الوقود بتغيير المشوار الفعال للمكبس تبعاً لوضع المجرى الحلزونية بالنسبة لفتحة السحب أى بواسطة إدارة المكبس . ويستخدم لذلك جريدة مسننة Rack شكل (٤ ـ ٦ أ ، ب) تعمل مع ترس معشق بها، وموجود على جلبة خارجية مقطوع بها مشقبية مركب فيها نراع أفقى، وبذلك يمكن دوران المكبس عند حركة الجريدة . وبهذا النظام يستطيع المنظم إدارة المكبس بحركة زاوية إلى الوضع المطلوب دون إعاقة حركته الرأسية .



ويوجد بأعلى الاسطوانة فتحتان متقابلتان يتصلان بفتحة دخول الوقود إلـــى المضـــخة تغذيان الأسطوانة بالوقود ، ولكن الفتحة اليمنى التى تواجه المجرى الحلزونية المقطوعة بالمكبس تعمل أيضاً علاوة على تغذية الاسطوانة بالوقود، تعمل على إعادة الوقود الفائض عن الحاجة إلى خارج الاسطوانة ولذا تسمى بفتحة الفائض .

ويلاحظ أن الوقود يصل إلى المضخة تحت ضغط منخفض حتى تكون الحوارى والفتحات مغمورة تماماً بالوقود بواسطة مضخة التعزيز Booster-pump .

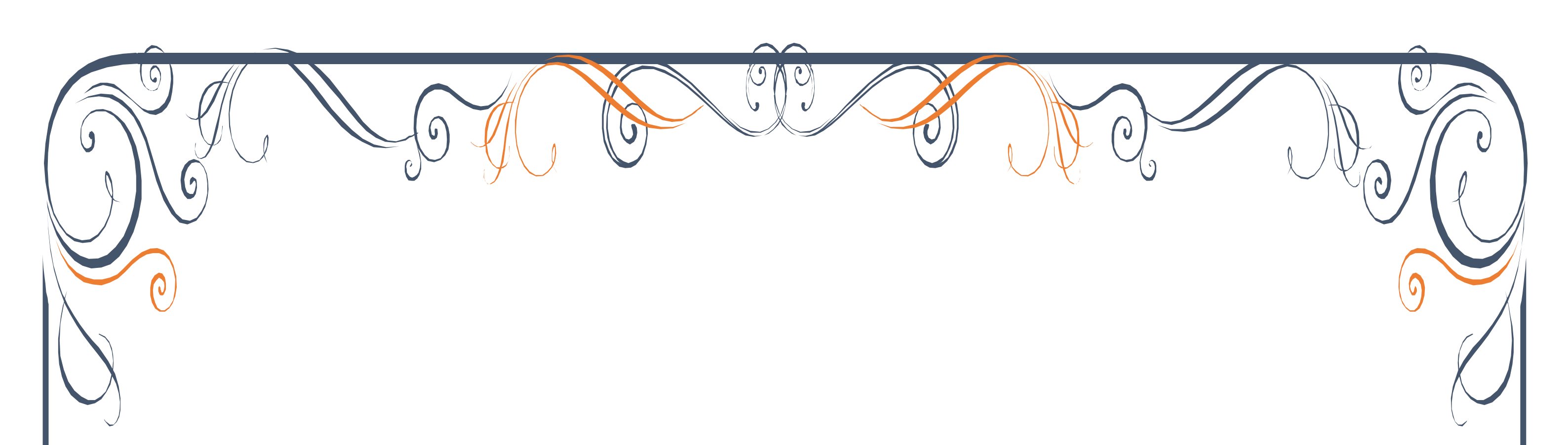


Operation of a port control pump section:
1—plunger; 2—barrel; 3—suction port; 4—spill port; 5—plunger helix; 6—spill slot

شكل (٤ ــ ٦ جـ)

<u>التحكم فى الكمية :</u>

ويوضح شكل (٤ ــ ٦ جـ) طريقة عمل المضخة أثناء ثلاث مراحل رئيسية ويتضح أن كمية الوقود المحقونة تعتمد أساسً على مقدار تغير زاوية دوران المكـــبس بواســـطة الجريدة المسننة ، ويوجد وضع تأتى فيه المجرى الرأسى مقابلة لفتحـــة الفـــائض وهـــو الوضع الذى لا تضخ فيه المضخة أى وقود .



التحكم فى التوقيت :

١. ويتم التحكم فى توقيت الحقن بالزاوية النسبية بين بروز الحدبة Cam - Peak وعمود المرفق ، ويمكن ضبطها بتغيير هذه الزاوية بالنسبة لعمود المرفق .

٢. ويمكن عمل ضبط آخر برفع أو خفض المكبس بالنسبة للتابع ، أى برفع المكبس يمكن غلق فتحة السحب مبكراً ، أى الحقن مبكراً ، بينما خفض المكبس بجعله متأخراً .

٣. ونفس المطلوب يمكن تحقيقه برفع أو خفض جسم المضخة بالنسبة لمراكز تثبيتها . وقد استخدمت هذه الطريقة مع منظومة .V.I.T فى المحركات L.M C . أنظر شكل (١٧ ــ ١٩) .

وتتعرض المضخة للعيوب التالية :

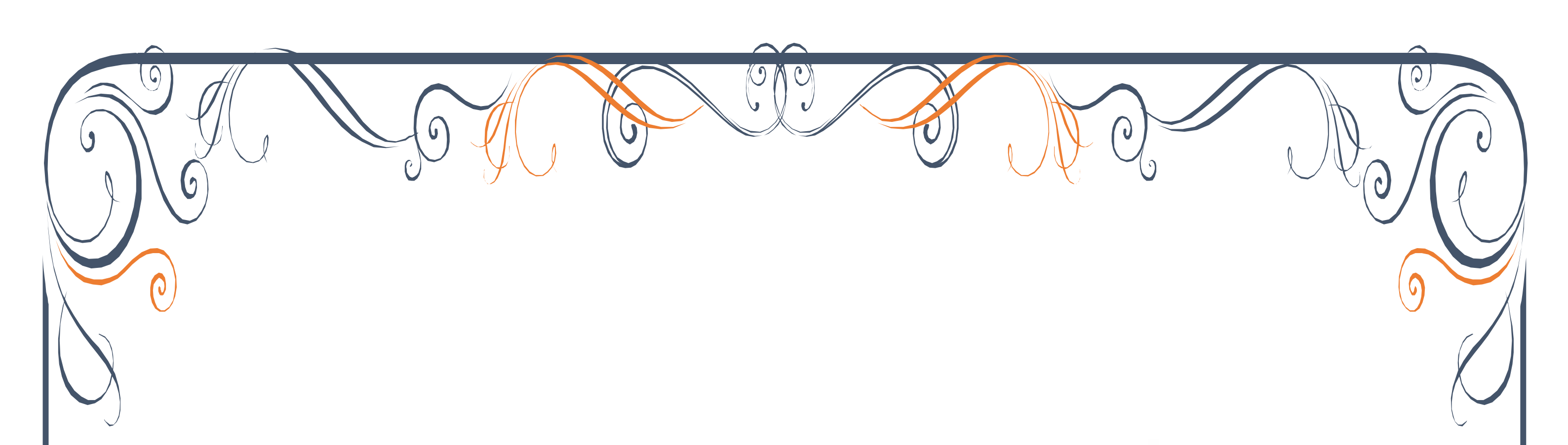
- برى بين المكبس والجلبة ، مما يسبب زيادة الخلوص بينهما ويقل ضغط المضخة .
- برى بين الكامة وعجلة التابع
- برى Errosion بفتحات السحب وسطح المكبس .
- تفويت الوقود من المضخة إلى زيت عمود الحدبات ويسبب تلوثه .

٤ ــ ٣ ــ ٢ المضخات ذات الصمامات المنظمة Valve controlled pumps

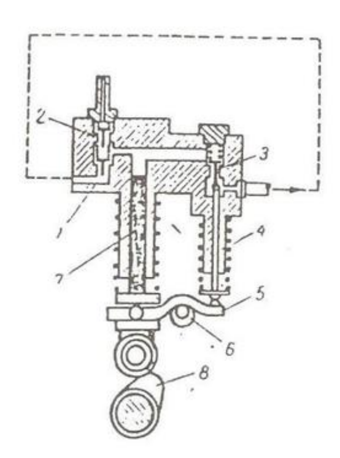
شكل (٤ ــ ١٧ أ) عبارة عن رسم تخطيطى لإحدى هذه المضخات ، حيث تنظم كمية الوقود بتغير اللحظة التى يبدأ فيها الحقن (أى بداية ضخ متغيرة) ونهاية ثابتة .

المكبس 7 يعمل بتأثير الحدبة 8 ويوجد ثلاث صمامات ، صمام السحب 1 ، صمام الطرد 2 وصمام تمرير 3 By-pass . عند صعود المكبس 7 لأعلى تتحرك الرافعة 5 بالعمود 4 لأسفل ويستمر صمام التمرير By-pass فى الفتح لحين وجود خلوص بين العمود ودليل صمام التمرير 3 وعندئذ يبدأ صمام التمرير 3 فى الغلق ويبدأ ضخ الوقود عن طريق صمام الطرد 2 .

ويمكن تغيير توقيت غلق صمام التمرير أو بداية الضخ بواسطة تغيير وضع اللامتمركز



6 Eccentric ،أى تقديم غلق الصـــــام يزيد المشوار الفعال وتزيد تبعاً لها كمية الوقود المحقونة ، وعند تأخير غلق الصمام يقل المشوار الفعال وتقل كمية الوقود المحقونة .



شكل (٤ ــ ٧ أ)

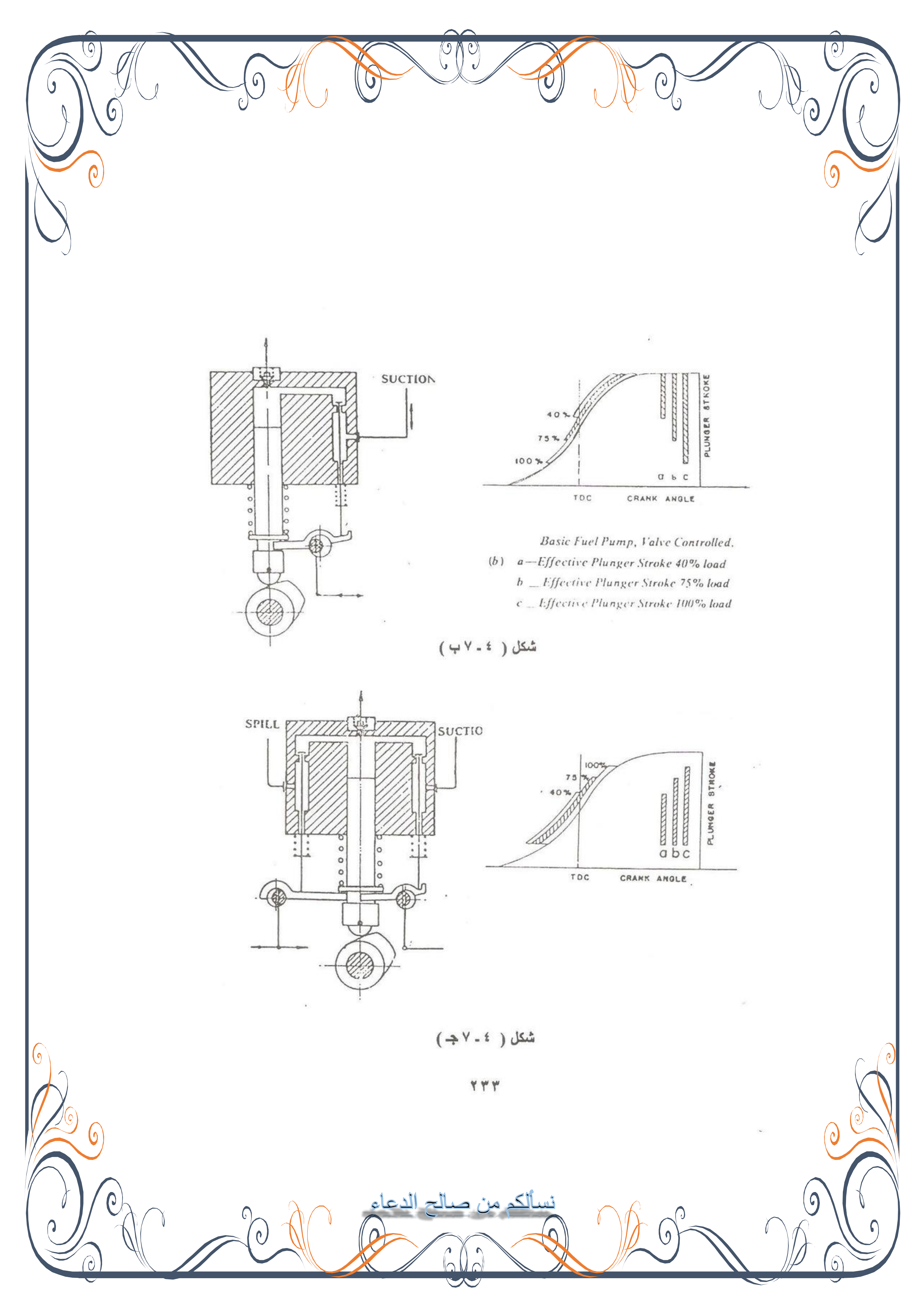
ويمكن تبسيط الرسم بالشكل (٤ ــ ٧ ب) ومنه يتضح أن المشوار الفعـال للكبـاس يتغير بقفل صمام التمرير مبكراً أو متأخراً طبقاً لوضع اللامتمركز أى طبقاً للحمل .

وواضحاً أن الحقن يكون متأخراً عند الحمل الجزئى وما له من عيوب ، وعليـه فقـد تطلب الأمر التطوير التالى :

شكل (٤ ــ ٧ جـ) ، يتم ملء الاسطوانة بفتح صمام السحب ، ويبدأ حقـن الوقـود بقفل هذا الصمام والذى يتحدد توقيته بضبط وضع اللامتمركز الثابت بالرغم من تغير الحمل ويستمر ضخ الوقود إلى أن ينتهى عندما يفتح صمام التصريف .

يتضح أن توقيت فتح صمام التصريف يعتمد على الحمل ، فعند الحمل الكامـل يكـون التوقيت مناسباً ، ولكن تظهر المشكلة عند الحمل الجزئى حيث يكون الحقن مبكراً ، وعليه يرتفع ضغط الحريق وما له من أضرار بالغة .

وبناء عليه تم التغلب على هذه المشكلة بادخال وسيلة الحقن المتغير V.I.T. والتـى استخدمت فى المحرك Sulzer R.T.A. وسيتم شرحها بالتفصيل فى الشكل (١٧ ــ ١٢)



Basic Fuel Pump, Valve Controlled.

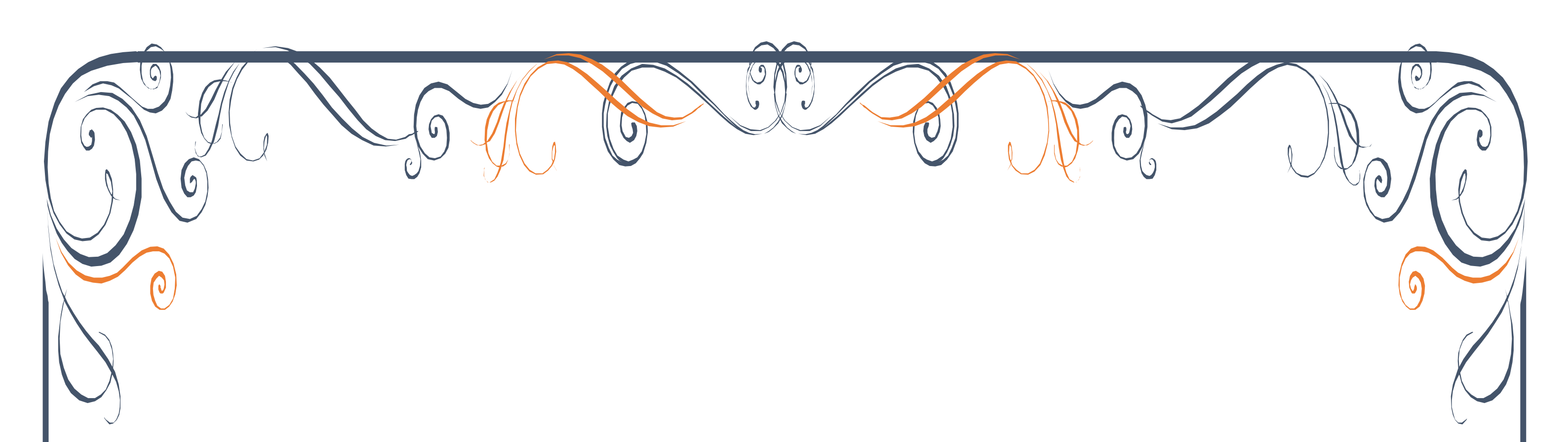
(b) a—*Effective Plunger Stroke 40% load*

b _ *Effective Plunger Stroke 75% load*

c _ *Effective Plunger Stroke 100% load*

شكل (٤ ـ ٧ ب)

شكل (٤ ـ ٧ جـ)



وتتعرض هذه المضخات للعيوب التالية :

- نحر بين المكبس والجلبة مما يسبب زيادة الخلوص بينهما ويقل ضغط المضخة .
- عدم إحكام الصمامات تماماً نظراً لوجود أى شوائب عالقة على المقعد أو وجود تنقير بها Pitting .
- ضعف اليايات مع مراعاة أنها تسبب تأخير غلق صمام السحب ، يتبعها تغير توقيت الحقن .

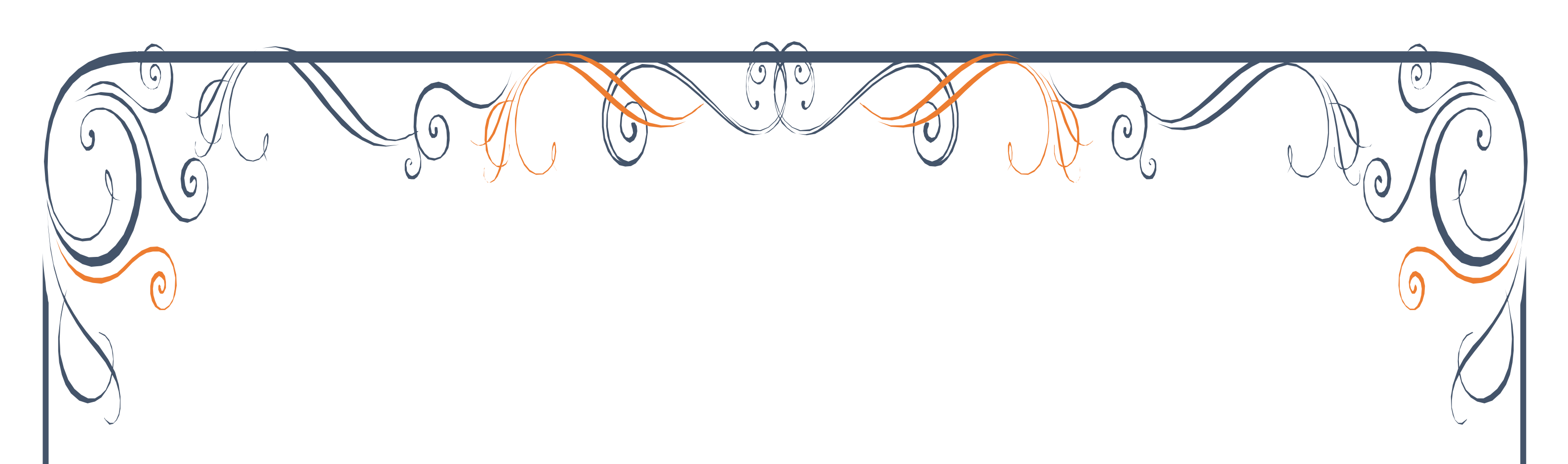
٤ ـ ٤ صمام الطرد لمضخة الوقود Delivery-valve

عندما تتصل المجرى الحلزونية لكباس المضخة بفتحة الفائض ، ينخفض ضغط الوقود مباشرة ، ويعود صمام الطرد إلى مقعده مباشرة ، لو كان صمام الطرد من النوع العادى فإن الوقود المتبقى فى الماسورة بين المضخة والحاقن يستمر فى سريانه خلال الحاقن إلى أن يقل ضغطه عن ضغط الياى وتعود إبرة الحاقن إلى مقعدها ، ويؤدى نزول الضغط تدريجياً فى الحاقن إلى حدوث التسييل Dribbling (عدم تذرير الوقود) .

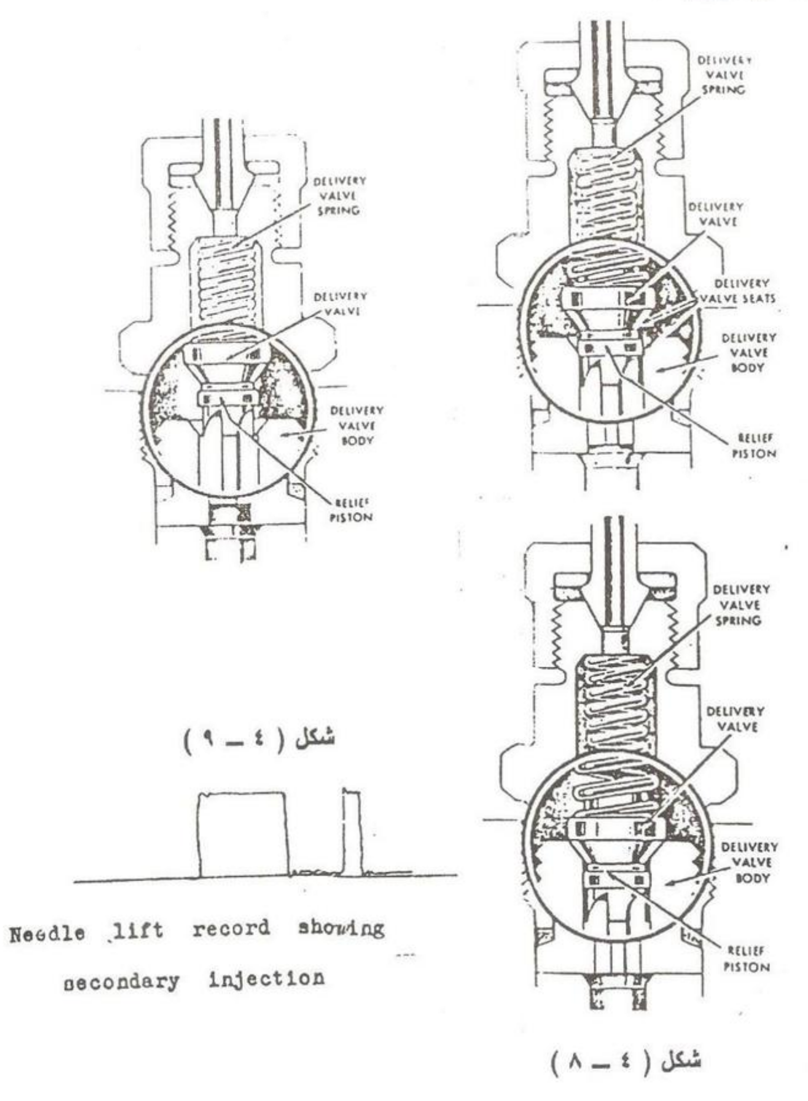
ولكن لمنع مثل هذا العيب صمم صمام طرد مضخة الوقود ليقوم بعمل تفريغ جزئى لماسورة الضغط علاوة على عمله كصمام غير رجاع .

ويمكن توضيح ذلك بالرجوع إلى شكل (٤ ـ ٨) حيث صمم الصمام ليكون بأسفله جزء يعمل كمكبس Relief Piston وهذا المكبس محكم التوفيق مع دليل الصمام .

عند انخفاض الضغط بالمضخة ، يعود صمام الطرد إلى مقعده ، وبذلك يتحرك المكبس الصغير لأسفل. مزوداً حجم الحيز الذى بأعلاه بقدر إزاحته ، وعليه ينخفض الضغط بالماسورة بين المضخة والحاقن وتعود إبرة الحاقن مباشرة إلى مقعدها بدون أى تسييل . ويجب أن يكون انخفاض الضغط بالماسورة بقدر كاف حتى لا يسمح بارتداد أى موجة تضاغطية مرة أخرى إلى أسفل الإبرة مسبباً الحقن الثانوى Secondary-injection كما فى شكل (٤ ـ ٩) ، وفى هذه الحالة يدخل الوقود بضغط منخفض وعلى شكل قطيرات دون التذرير المناسب . فلا يتم الاحتراق الكامل لها داخل الاسطوانة أى الحريق متأخر ، بالإضافة فإن هذا يعرض صمام الإبرة لغازات الاحتراق مسبباً تلف المقعد .



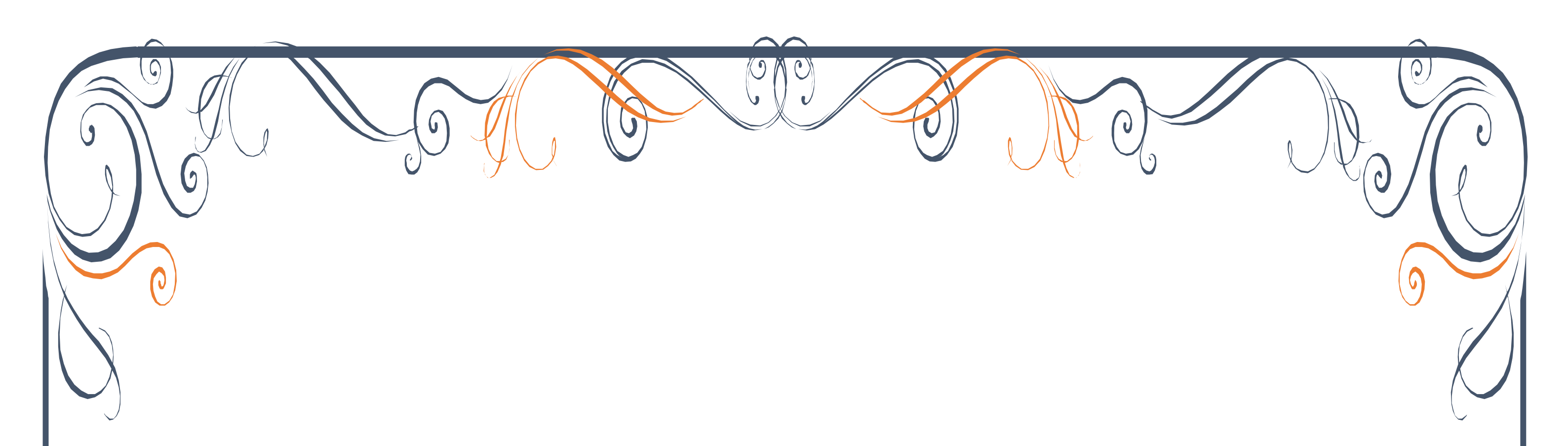
وفى الوقت نفسه إذا زاد انخفاض الضغط فى الماسورة إلى حد كبير تتعرض مجموعة الحقن للانهيار نتيجة تعرضها لخاصية التكهف Cavitation عند تشغيل المحــرك علــى الأحمال الجزئية .



شكل (٤ ــ ٩)

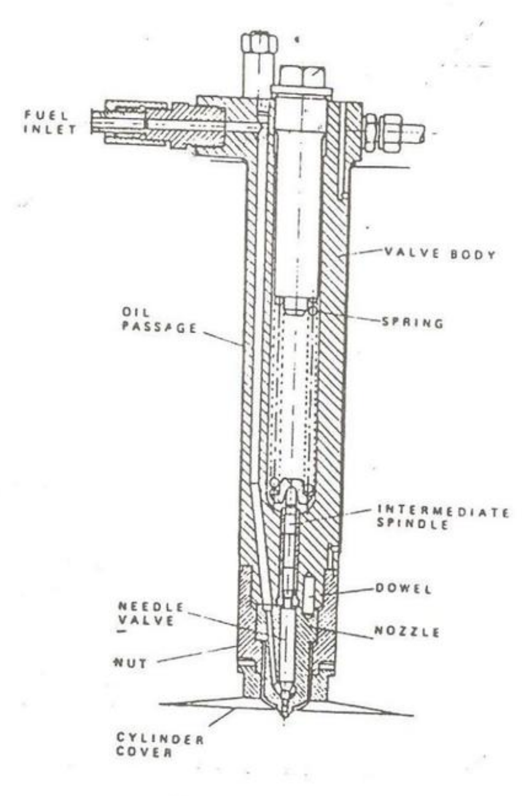
Needle lift record showing secondary injection

شكل (٤ ــ ٨)



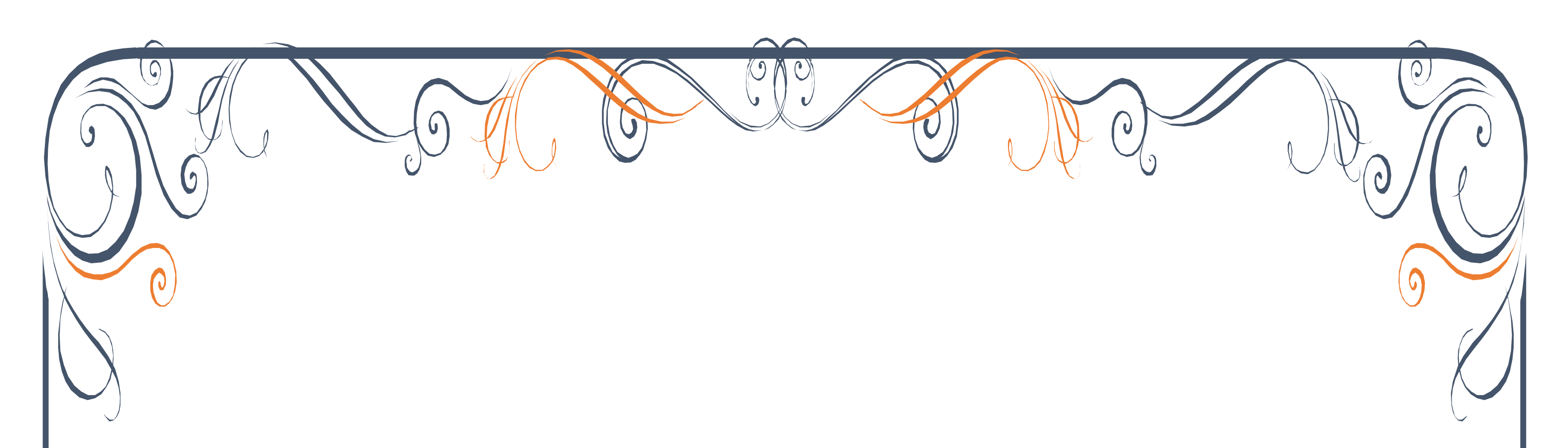
٤ ـ ٥ حاقن الوقود Fuel valve

الشكل (٤ ـ ١٠ أ) يمثل مقطع فى حاقن وقود هيدروليكي ، وهو عبارة عن صمام إبرة غير رجاع محمل بياى ، ويعمل هيدروليكياً بتأثير ضغط الوقود الواقع عليه من المضخة وذلك لحقن وتذرير الوقود .



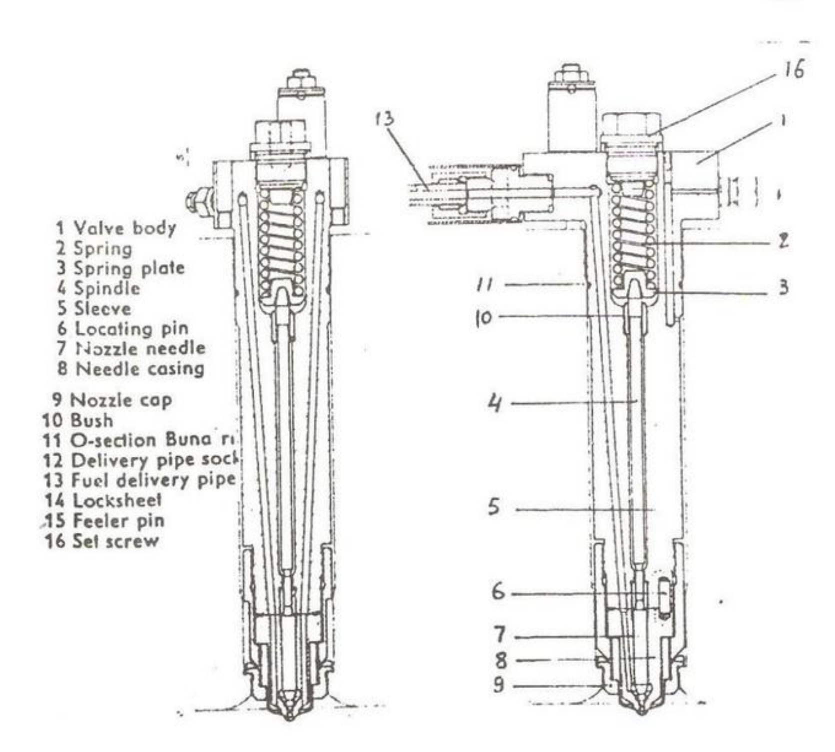
شكل(٤ ـ ١٠ أ)

والأجزاء الرئيسية للحاقن هو الجسم الذى تثبت فيه الفوهة Nozzle بحافظة Nut التى لها سطح محضن لضمان الحصول على وصلة مع سطح التثبيت مانعة لتسرب غازات غرفة

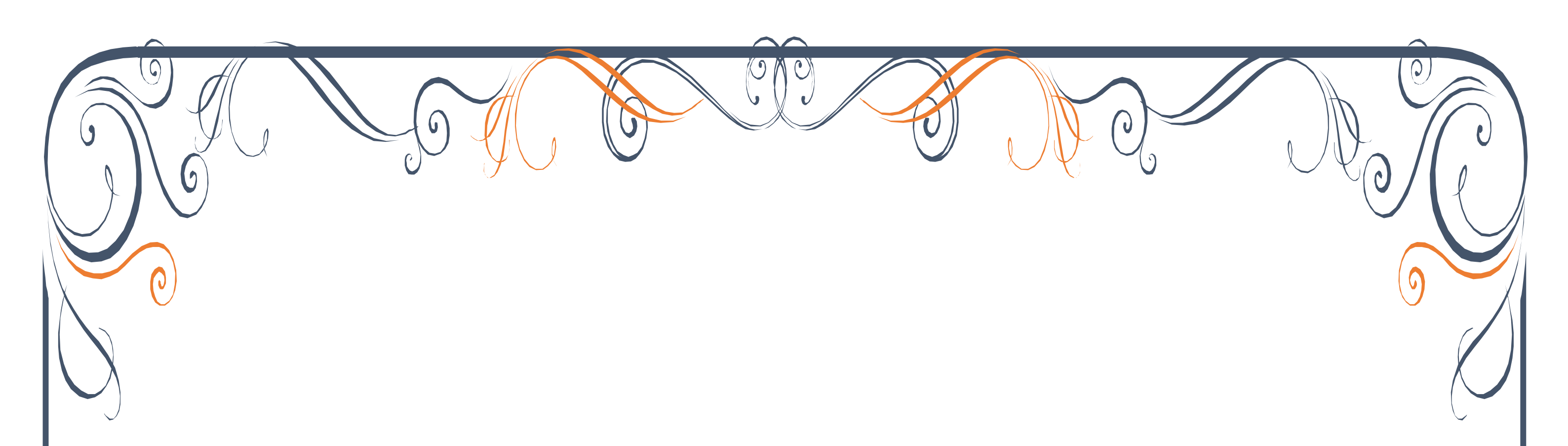


الاحتراق . ويحتوى الجسم على ياى وصامولة زنق Compression - nut وكـذلك علـى عمود متوسط Spindle ويوجد به مجرى لمرور الوقود إلى الفوهة، كما توجـد ممـرات للتبريد ، ويتم تحضين سطح الفوهة مع سطح الجسم السفلى ، لتكون وصلة مانعة لتسريب الوقود ، ويوجد فوله Dowel لضبط التركيب السليم .

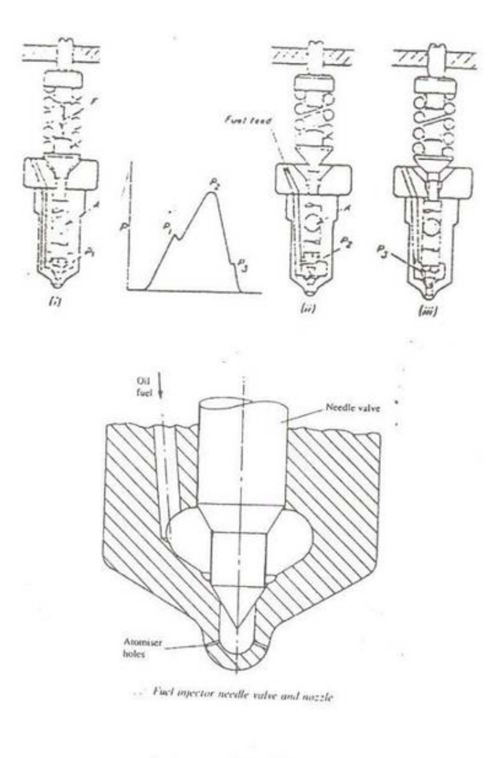
وتصنع عادة أبر صمام التذرير وأدلتها من سبائك الصلب المصلد وذلك بقصد التقليـل من التآكل ، كما أن توفيق الإبرة مع دليلها يكون بالتحضين ، ولذا لا يجوز استبدال أحدهما دون الآخر . الشكل (٤ ــ ١٠ ب) يوضح تصميم آخر للحاقن لتوضيح دخول وخـروج التبريد .



شكل (٤ ــ ١٠ ب)

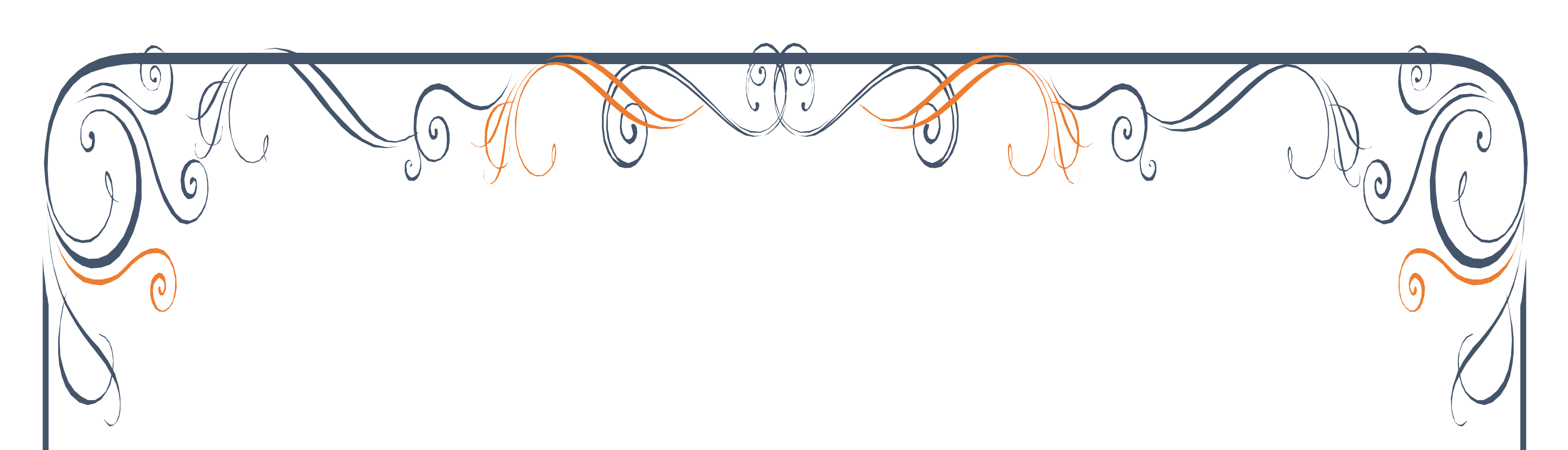


تحت الإبرة يوجد غرفتان شكل (٤ ــ ١١) تملأ الغرفة العليا بالوقود الواصل إليها من المضخة ولا يمكن تسريبه حيث أن الإبرة محضنة تماماً مع المقعد . ويؤثر ضغط الوقـود على السطح المائل العلوى للإبرة ، وعند قيمة معينة مثل P_1 يتغلب على قوة الياى وترتفع الإبرة ، وعندئذ يمر الوقود إلى الغرفة السفلية ، حيث يؤثر على السطح المائل السـفلى ، ويسبب رفع الإبرة بسرعة وبقدر معين (حوالى ١ مم) سامحاً بحقن الوقود بضغط مرتفع P_2 ويتراوح ضغط فتح الإبرة بين ١٥٠ ، ٢٥٠ بار طبقاً للتصميم ونوع الوقـود ، عنـد انخفاض الضغط بمضخة الحقن إلى P_3 يقفل صمام الإبرة بتأثير ضغط الياى .



شكل (٤ ــ ١١)

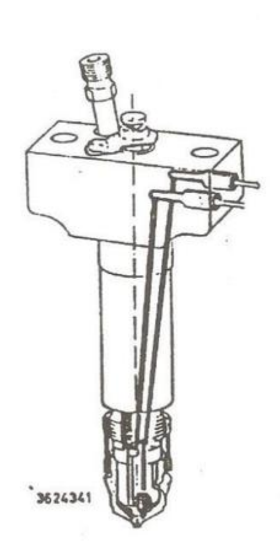




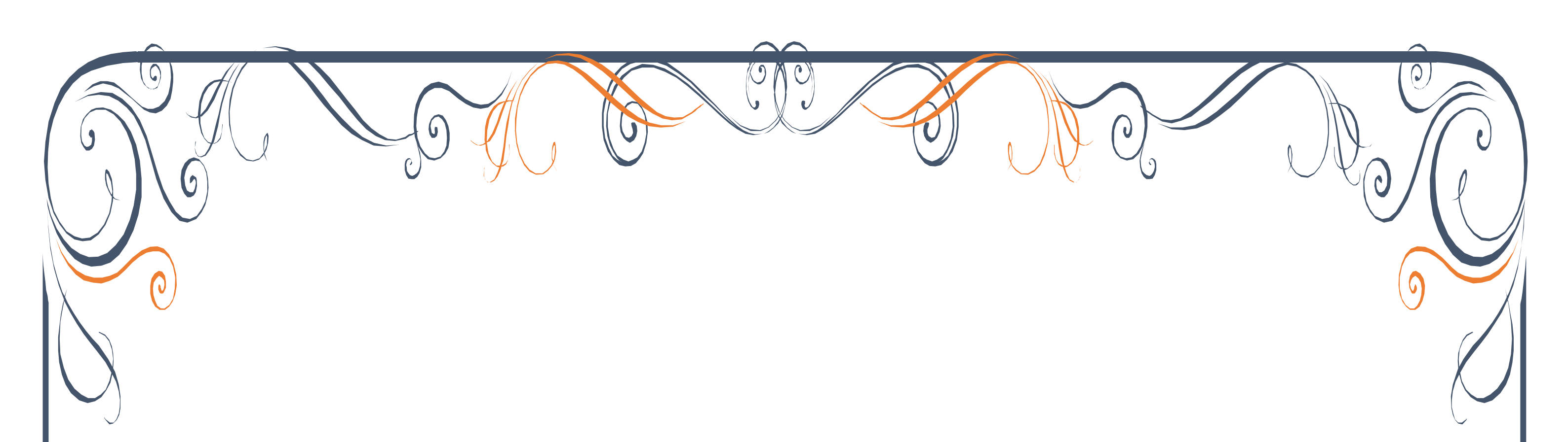
يراعى أن ضغط الغلق P_3 أقل من ضغط الفتح حيث أن كلا المساحتين يقعان تحت تأثير هذا الضغط ، فى حين أن المساحة العلوية فقط تتعرض لضغط الفتح P_1 ، وعليه فــإن P_3 أقل من P_2 .

تبريد الحاقن : Fuel-valve cooling

يبرد الحاقن بوقود الديزل أو الماء ، ولكن يفضل التبريد بالماء عند اســتخدام الوقــود الثقيل ، وذلك للمحافظة على درجة حرارة الفوهة بحيث لا تزيد عن ٢٠٠ °م ، وتســتخدم منظومة مستقلة نظراً لعدم التلوث فى حالة حدوث أى تفويت ، انظر شكل (٤ ــ ١٢) . ويجب مراعاة عدم ارتفاع درجة الحرارة لمنع تكون الكربون الذى يسبب انسداد الثقــوب وعدم انخفاض درجة الحرارة لمنع حدوث التآكل ، ويضاف على ماء التبريد مانع للصدأ ، ودرجة حرارة الماء بعد التبريد لا تزيد عن ٧٥ °م .



شكل (٤ ــ ١٢)



الحواقن الغير مبردة: Uncooled fuel-injectors

يراعى فى التصميمات الحديثة لمحركات الديزل الكبيرة ثنائية الأشواط التبريد الجيد لحواقن الوقود ، ويتم ذلك دون استخدام المنظومة الخاصة المعتادة فى التصميمات السابقة حيث يتم ذلك عن طريق :

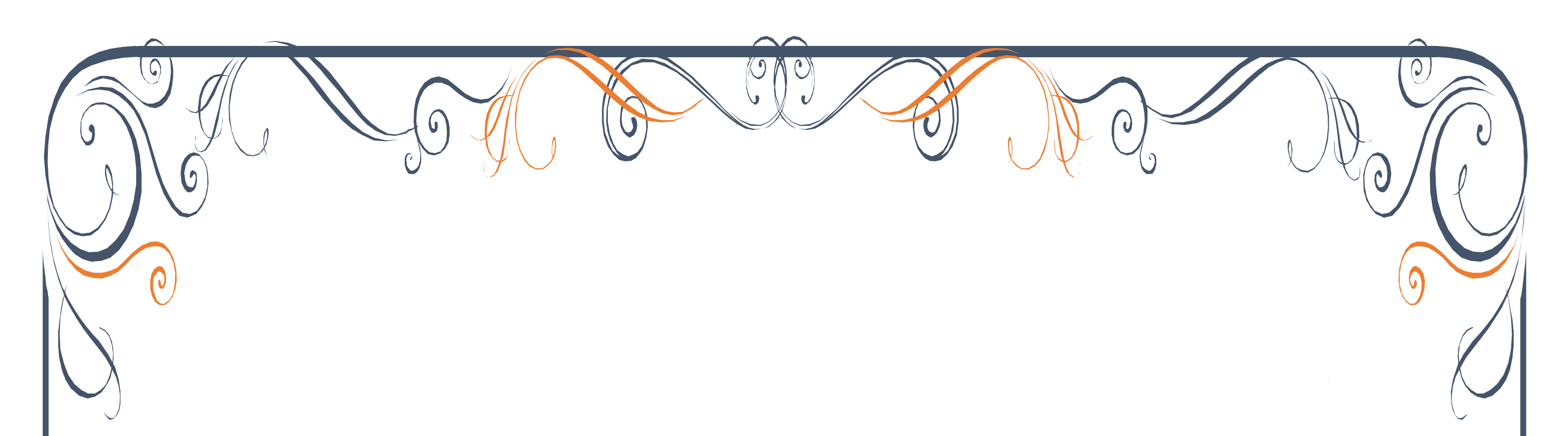
أ ــ عمل ثقوب خاصة بالرأس حول مبيت الحاقن Bore-cooling .

ب ــ كما تجهز هذه الحواقن بصمام تمرير Circulating valve حيث يسمح بتمرير الوقود الساخن بالممرات المجهزة خصيصاً لتبريد الحاقن قبل رجوعه إلى صهريج الخلط شكل (٤ ــ ١٣) .

عند بدء تأثير الضغط العالى للمضخة لحقن الوقود ينضغط ياى صمام التمرير فجأة وتقفل ممرات التبريد ويبدأ رفع الإبرة لحقن الوقود فى الاسطوانة، وبهذا التصميم أمكن أن يحتفظ الحاقن بدرجة الحرارة المطلوبة طوال الوقت مما يتيح عمل المناورات على الوقود الثقيل دون الحاجة لاستخدام منظومة تبريد خاصة .

Uncooled fuel injector (MAN—B & W)

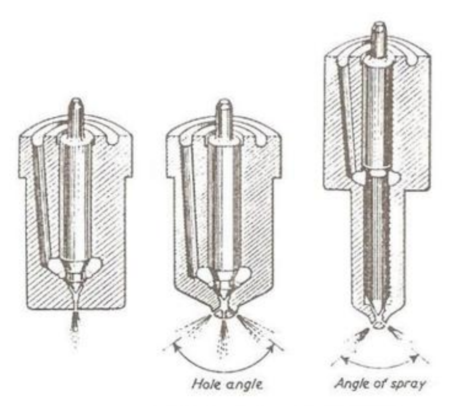
شكل (٤ ــ ١٣)



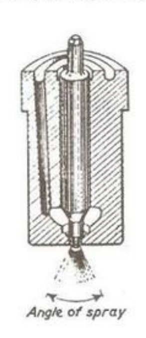
٤ ــ ٥ ــ ١ فوهات التذرير Nozzles

وتصنع عادة بثلاث أشكال كما هو واضح من شكل (٤ ــ ١٤) :

ــ ذات ثقب واحد One Hole وتنتج نافورة مخروطية الشكل ذات زاوية حوالى١٥° ، وتستعمل عادة فى حالة غرف الاحتراق ذات الدوامة القوية لتساعد علــى التــذرير والانتشار ، وميزة هذه الفوهات أنها ذات ثقب واسع نسبياً فيقل احتمال انسدادها .

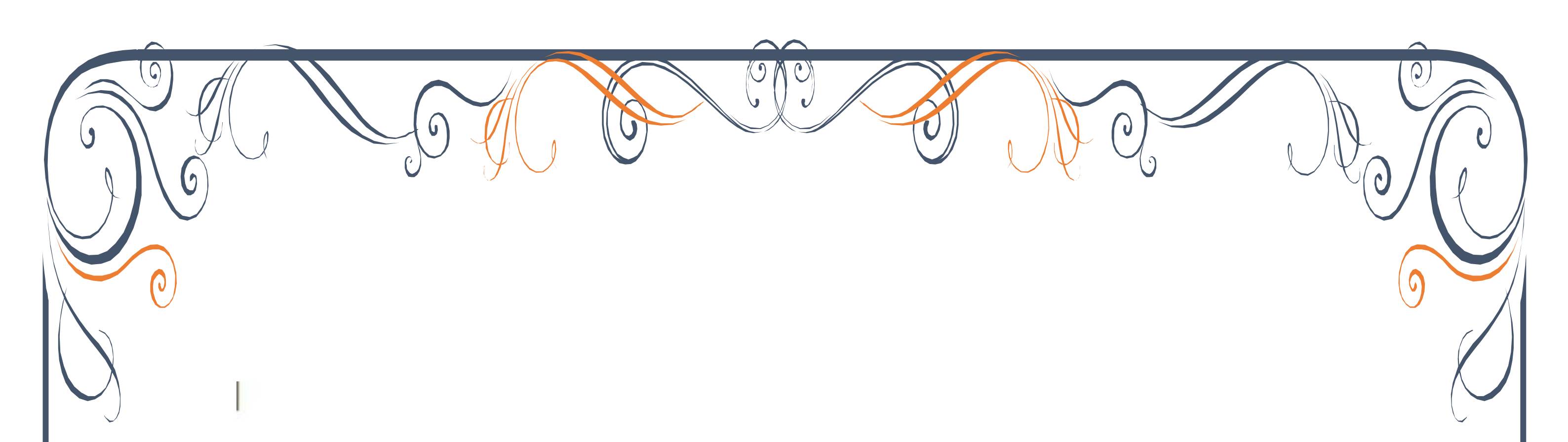


—Multiple orifice injector nozzles.



شكل (٤ ــ ١٤)

ــ ذات الثقوب العديدة Multiple orifice: وتستخدم فــى حالــة غــرف الاحتــراق المنبسطة ، لأن اتساع هذه الغرف مع عدم عمقها يستلزم أن تكــون النــافورة ذات قدرة عالية على الانتشار فى جميع الحيز .



وكلما زاد عدد ثقوب التذرير قل قطر كل منها ، وبذلك يجب أن يكون الوقود المستعمل نظيفاً ، وتتراوح أقطار هذه الثقاب عادة بين ٠,١ إلى ٠,٨ مم وعددها بين ٤ إلى ١٠ .

ـ ذات الدليل Pintle Type وفيه يزود طرف الإبرة بدليل ، ويتغير شكله تبعـاً لنـوع النافورة المطلوبة ، ويدخل هذا الدليل فى ثقب الفوهة بحيث يترك بينهما فراغ فـى الدائرة ، هذا ويمكن تصميم دليل يعطى اسطوانة جوفاء من الوقود ذات قوة انتشار عالية ، أو مخروط أجوف قصير ذا زاوية حوالى ٦٠ °م ويستخدم هذا النوع عـادة مع غرف الاحتراق المتقدمة Pre-combustion chambers .

٤ ـ ٥ ـ ٢ عيوب الحاقن Fuel-Valve Faults

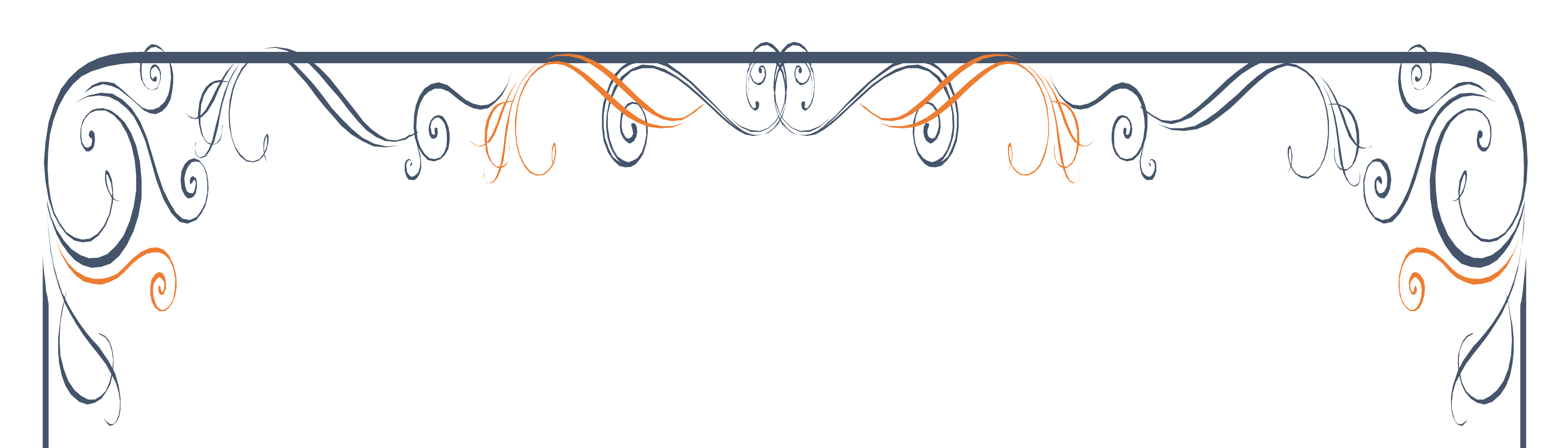
- انسداد الثقوب أثناء التشغيل نظراً لتراكم الكربون أو الرماد .
- عدم إحكام الإبرة على المقعد وتسبب تسييل dribbling
- اتساع ثقوب الفوهة فتؤدى إلى عدم التذرير الجيد .
- كسر أو ضعف الياى فيتم الحقن عند ضغط أقل وتوقيت مخالف .
- ضعف التبريد نتيجة اتساخ أو انسداد الحوارى .

وتؤدى هذه العيوب عادة إلى رداءة الاحتراق والمصـحوب بـــ : ارتفـاع الضـغط بالاسطوانة ـ ارتفاع درجة حرارة العادم ـ سماع خبط أو دق بالوحدة ـ ظهور دخـان بالعادم ـ فقد فى القدرة .

٤ ـ ٥ ـ ٣ : الصيانة : Maintenance

يعتمد التشغيل السليم للمحرك اعتماداً كبيراً على حالة الحواقن ، ولذا يجـب القيـام بإعمال الصيانة الدورية لها طبقاً للفترات الواردة فى سجل الصانع أو كمـا يتضـح مـن التشغيل الفعلى ، ويعتمد ذلك على حالة التشغيل ونوع الوقود . وطريقة تنظيف الحاقن كما يلى،مع مراعاة أن نظافة المكان أساس لمثل هذا العمل :

- أولاً تنظيف الفوهة من أى كربون متراكم ، ولا تستعمل أى أداة حادة بل يفضل استخدام قطعة من الخشب ، ويمكن الاستعانة بالسولار لتفتيت الكربون المترسب



• يحل غطاء الفوهة وتنظف جميع الأجزاء بالسولار تماماً وتجفف بالهواء (ويتم حركة الإبرة فى الدليل عدة مرات) .
• تنظيف الثقوب بسلك له نفس القطر أو أقل ويحذر استخدام سلك ذو سمك أكبر حيث أن هذا يؤدى إلى تلف الفوهة تماماً .
• يمكن عمل صنفرة للإبرة على مقعدها ، ولكن هذا يحتاج لخبرة تامة .
• عند وجود تسييل بالفونية أو تنقير بالإبرة يجب تغيير الإبرة مع دليلها .
• يجمع الحاقن مع مراعاة الدقة التامة والرباط المضبوط مع تحضين الأسطح .
• يتم ضبط تذرير الحاقن بالاستعانة بمضخة الاختبار اليدوية ، ويكون الحاقن مضبوط عندما يخرج الوقود على شكل رذاذ وبكميات متساوية من جميع الثقوب وينقطع الرش مرة واحدة وبدون تسييل .

ويمكن اختبار احكام الإبرة برفع الضغط إلى أقل من ضغط التذرير بحوالى ١٠ بار وقفل صمام المضخة وملاحظة الوقت اللازم لنزول الضغط ، ويجب ألا يقل عن ٥ ثوانى .

٤ ـ ٦ مواسير الضغط العالى

High-pressure pipes

هى المواسير الموصلة للوقود من مضخة الحقن Injection-pump إلى الحاقن Fuel-valve وتقع تحت تأثير اجهادات كبيرة نتيجة الموجات التضاغطية والاهتزازات ويعتبر تصميمها حيوياً لضمان سلامة تشغيل منظومة حقن الوقود (القطر الداخلى والخارجى والطول) .

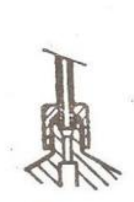
وتصنع هذه المواسير من الصلب الخاص لمقاومة ظروف التشغيل الصعبة .

وتوجد عدة تصميمات للوصلات المستخدمة سواء من ناحية المضخة أو الحاقن لضمان عدم التسريب، بعضها موضح بالشكل (٤ ــ ١٥ أ)

ويجب مراعاة الدقة التامة عند الرباط على وصلات هذه المواسير ، وليكن معلوماً أنه ليس من الضرورى زيادة الرباط لضمان عدم التسريب ، بل قد تؤدى إلى شروخ نتيجة اجهاد الكلال .



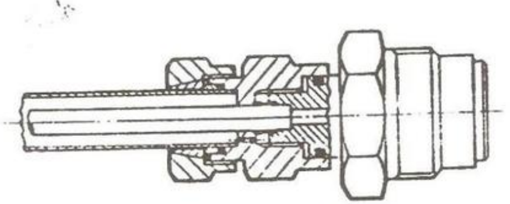




—High pressure pipe connexions.

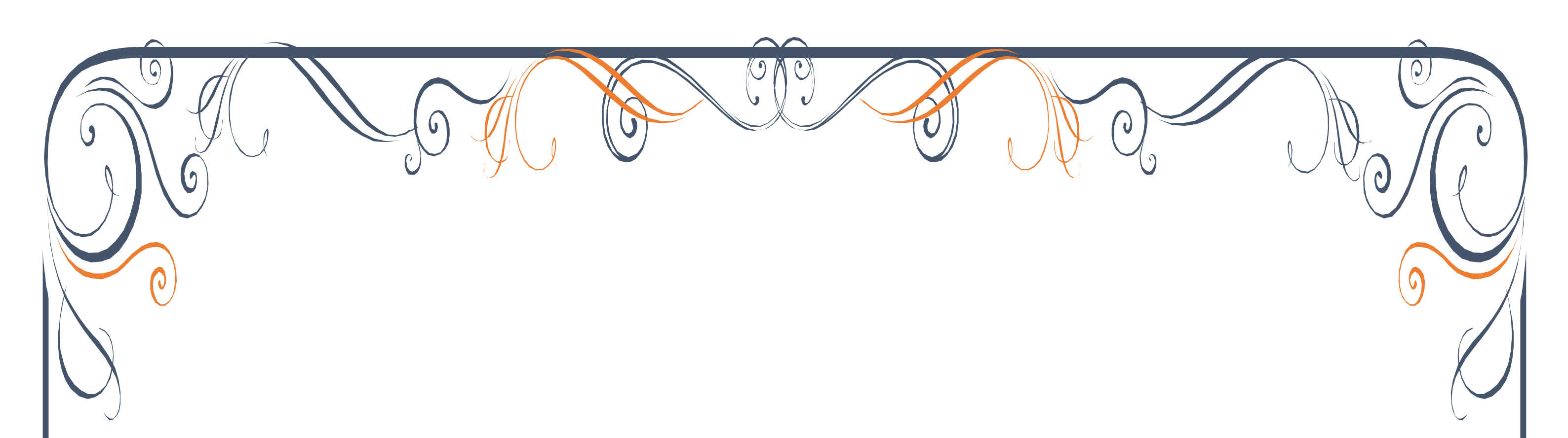
شكل (٤ ــ ١٥ أ)

ونظراً لخطورة تسريب Leakage الوقود ذات الضغط العالى (حوالى ١٢٠٠ بـــار)، خاصة فى غرف المحركات الغير مطقمــة ، فتســتعمل المواســـير ذات الجـــدارين Double-walled pipe كما هو واضح بالشكل (٤ ــ ١٥ ب) ، ويوجه أى تسرب قــد يحدث إلى مكان آمن قابل للملاحظة .



—Connexion for double-walled pipe.

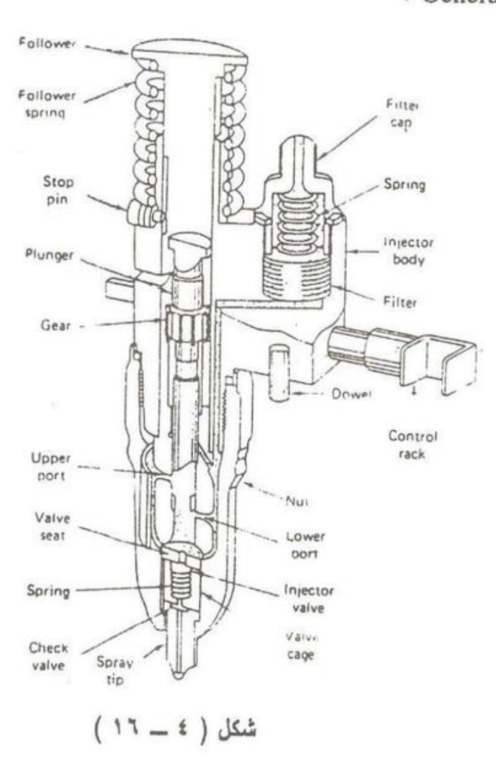
شكل (٤ ــ ١٥ ب)



٤ ـ ٧ وحدة الحقن

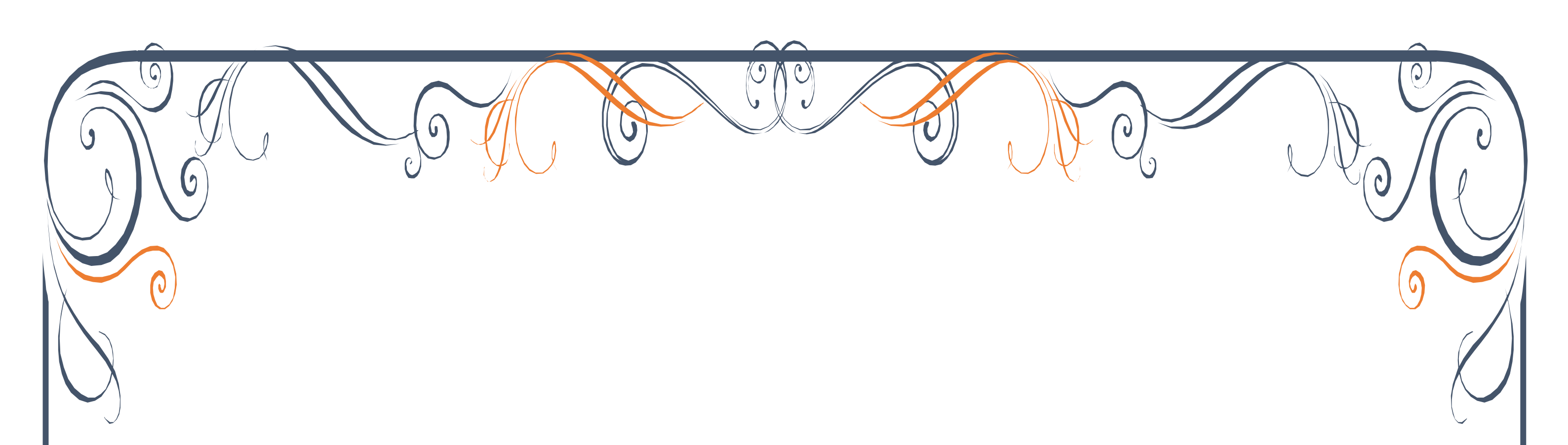
Unit injection

تتضمن وحدة الحقن على مضخة الحقن وفوهة التذرير معاً بدون الاحتياج إلى ماسورة الضغط العالى شكل (٤ ــ ١٦) وهى تستخدم بكثرة فى المحركات الديزل البحرية طــراز General motors .

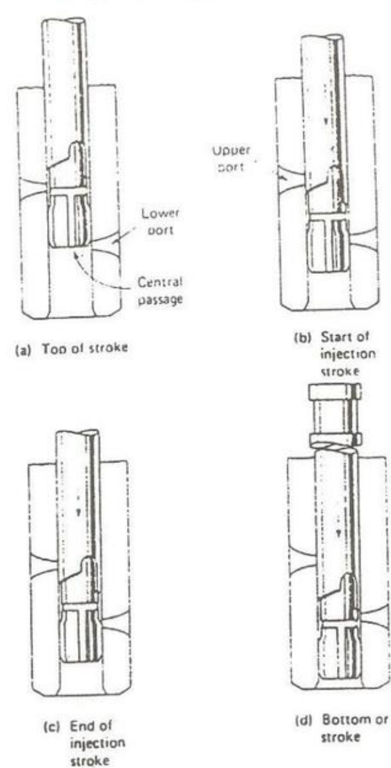


شكل (٤ ــ ١٦)

ويتم تركيب وحدة الحقن على كل اسطوانه ، وهى تعمل تحت تأثير رافعة وعمود دفــع وحدبة . ويتحرك الكباس إلى أسفل تحت تأثير ضغط الرافعة على تابعه الذى يتصل به من أعلى ، وفى ذات الوقت يمكنه أن يدور حول نفسه بواسطة الجريدة المسننة المؤثرة على الترس . ويوجد خط للتغذية بالوقود عن طريق فلتر وآخر للراجع .

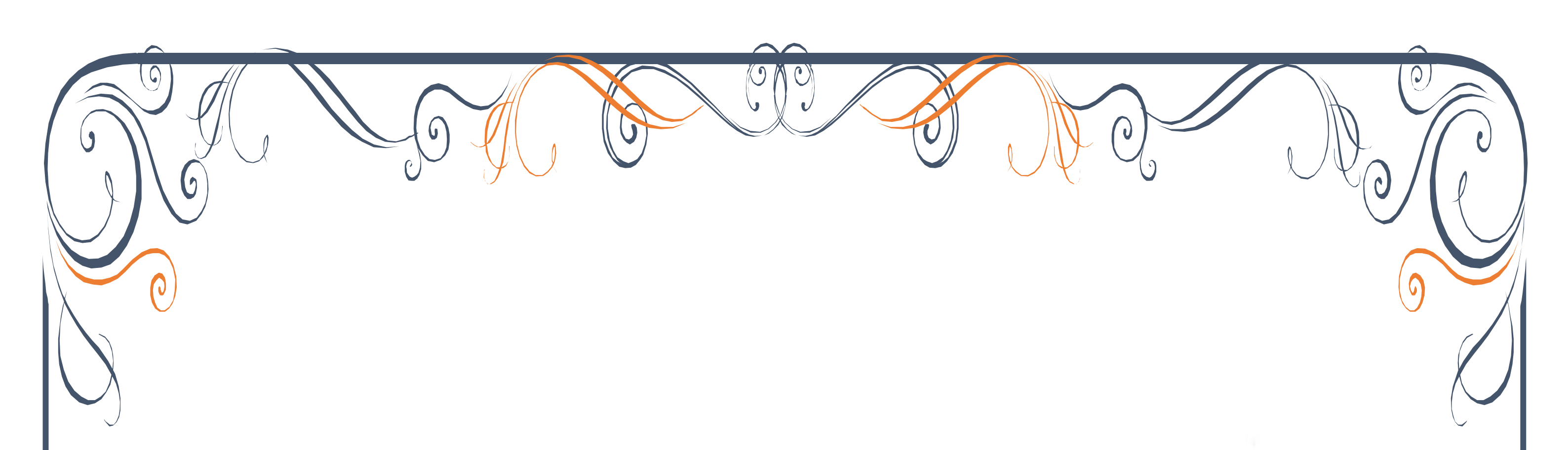


وطريقة التشغيل موضحة بالشكل (٤ ــ ١٧) حيث يوجد فتحتين فى جدار الاسطوانه أحداهما علوية والأخرى سفلية ، ويوجد ثقب فى منتصف الكباس متصل بالفتحة الحلزونية. باتصال الفتحة العلوية بالمجرى الحلزونية لا يتولد أى ضغط كما فى (a) ، وينزل الكباس وبتغطية الفتحة العلوية لا يتسرب الوقود ويبدأ الحقن كما فى (b) ، وباستمرار نزول الكباس يبدأ اتصال الفتحة السفلية بالمجرى الحلزونية ويكون هو نهاية الحقن والتصريف كما فى (c) ويستمر نزول الكباس إلى أسفل حتى نهاية المشوار كما هو واضح فى (d) .



شكل (٤ ــ ١٧)

من ذلك يتضح أن الفتحة العلوية تحدد بداية الحقن أما الفتحة السفلية فتحدد نهايته ، وعادة تعمل الوحدة ببداية حقن متغيرة ونهاية ثابتة .



أسـئلة

١. صف مع الاستعانة بالرسم حاقن الوقود ، واشرح كيفية معايرة الوقود ، واذكر كيف يمكن ضبط ضغط حقن الوقود .

٢. أرسم شكل توضيحي مفصل لنظام تشغيل مضخة حقن الوقود فى محرك ديزل كبير ، وأوصف طريقة عملها وطرق تغيير توقيت الحقن . بين كيف تتم معايرة حقن الوقود لتناسب الحمل الواقع على المحرك .

٣. أرسم مقطع فى مضخة حقن الوقود الرئيسية لمحرك ديزل بخلاف مضخة " بوش " ، واشرح كيفية معايرة الوقود . أذكر العيوب التى تتعرض لها هذه المضخات ، ولماذا تعتبر مضخات حقن الوقود حساسة بالنسبة لأنواع الوقود ؟

٤. أوصف طريقة عمل حاقن محرك ديزل ، واذكر العيوب التى قد تظهر فى حاقن الوقود وكيفية عمل الصيانة اللازمة والاختبارات .

٥. أوصف كيفية التحكم في كمية الوقود المحقونة فى اسطوانة المحرك الديزل بواسطة مضخة الحقن ، واذكر تأثير تقديم كامة الوقود على :

— درجة حرارة غازات العادم .

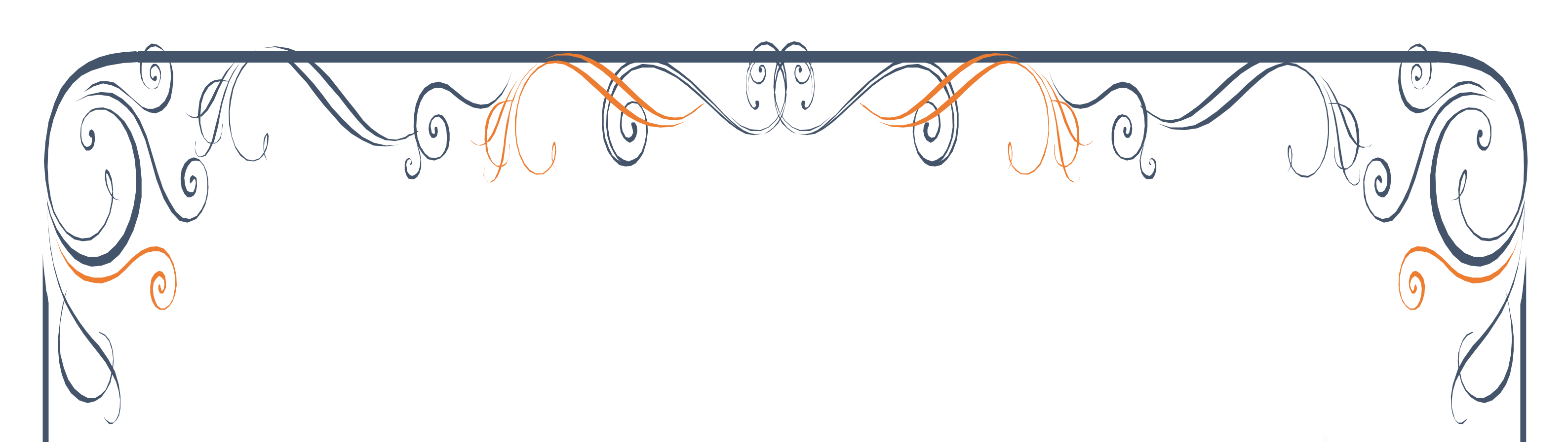
— الضغط فى الاسطوانه .

— معدل استهلاك الوقود .

٦. قارن بين الثلاثة طرق المختلفة لتنظيم التحكم فى الوقود المحقون بواسطة الطلمبات .

٧. بماذا يتميز صمام الطرد لمضخة الوقود ، وتأثيره على جودة الاحتراق .

٨. تكلم عن التصميمات المختلفة لفوهات التذرير ومزايا كل منها .



الباب الخامس

تزييت محركات الديزل

Lubrication of diesel engines

استخدم الإنسان من قديم عهده مواد مختلفة لتقليل الاحتكاك بين سطحين منـزلقين ، وقد استخدم المصريون القدماء من حوالى ١٤٠٠ سنة قبل الميلاد خلـيط مـن الـدهون الحيوانية والصابون لتزييت عرباتهم الحربية ، وتستخدم فى الوقـت الحاضـر الزيـوت المعدنية المستخرجة بعملية التقطير لخام البترول .

إن وجود طبقة من زيت التزييت بين السطحين المنزلقين يقلل مـن معامـل الاحتكـاك Friction - coefficient ويساعد على انتقال الحـرارة ، وامتصـاص أحمـال الصـدمات Chock-loads ، كما أنه يساعد على زيادة إحكام حيز غرفة الاحتراق ، ويمنع التسـريب بين الجلبة وحلقات المكبس .

٥ ـ ١ قواعد التزييت

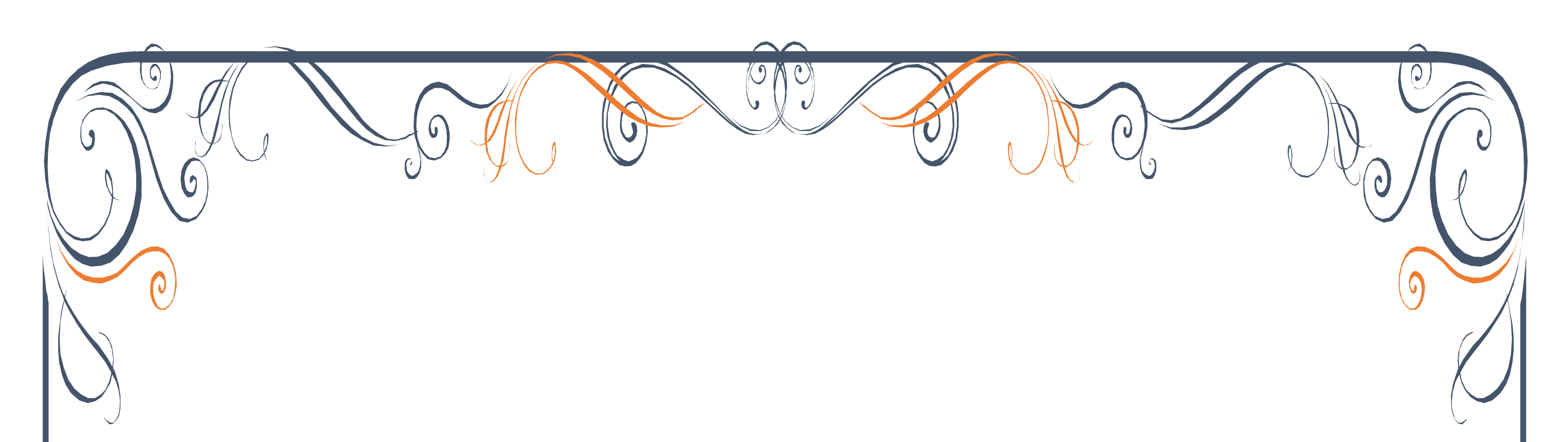
Lubrication principles

يظهر الاحتكاك Friction بين جسمين عند تحريك أحداهما علـى الآخـر ، ويعـرف الاحتكاك بالقوة التى تؤثر عند سطح الاتصال بين الجسمين لمقاومة هذه الحركة . وينقسم الاحتكاك إلى إنزلاقى Sliding type كما فى حالة انزلاق المكبس فى الاسـطوانة ، ودوار Rolling type كما فى حـالة دوران العمود فى المحمل Bearing ، ومائع Fluid كما فى حالة سير السفينة على سطح الماء .

<u>وتمتاز زيوت التزييت بخاصيتين هما :</u>

- التماسك Cohesion بين جزئياتها ،
- والالتصاق Adhision على الأسطح حتى فى وجود الضغط والحرارة .

ويجب معرفة أن الاحتكاك يولد حرارة ويفقد قدرة مقدارها متغير طبقاً لنوع الاحتكاك .

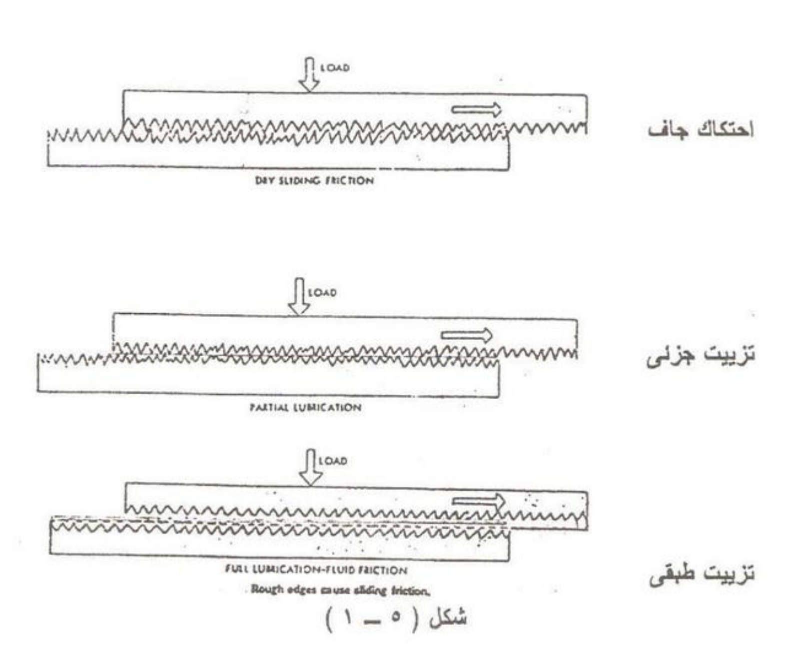


أولاً : ففى حالة الاحتكاك الانزلاقى Sliding friction يؤثر عاملان وهما :

أ ــ درجة نعومة السطحين Degree of surfaces roughness .

ب ــ الحمل الواقع Load على سطح الاحتكاك .

والشكل (٥ ــ ١) يوضح منظر ميكروسكوبى لسطحى قطعتين من المعدن .

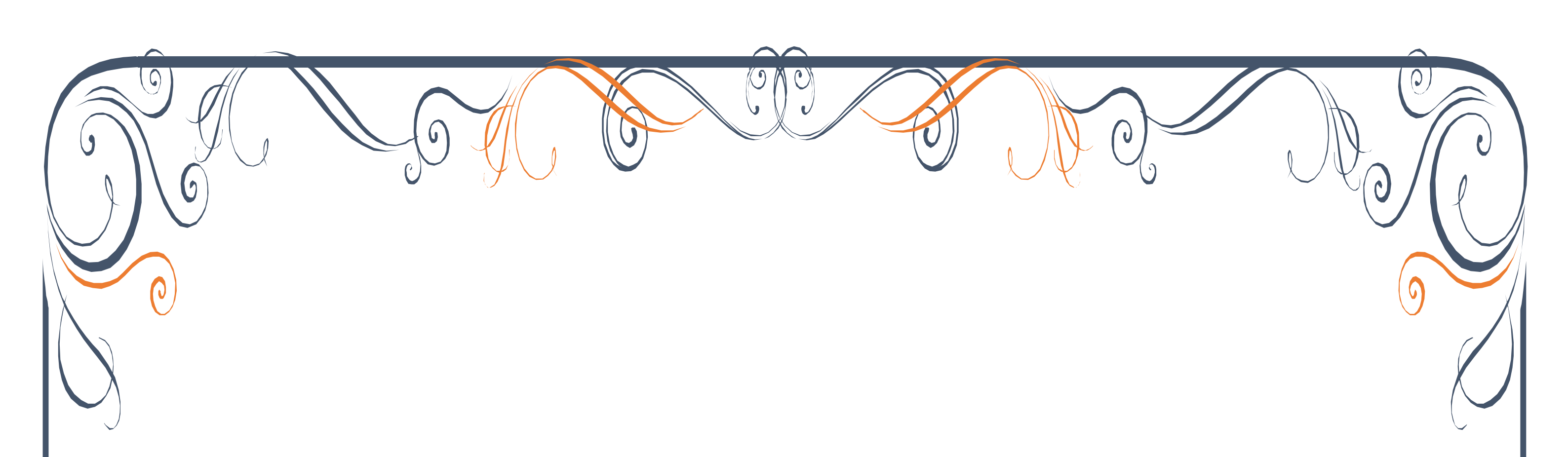


شكل (٥ ــ ١)

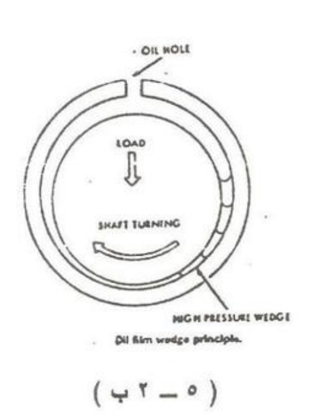
الرسم الأول : بدون طبقة الزيت تتصادم النهايات ويزيد الاحتكاك وترتفع درجة الحــرارة وبزيادة الحمل يزيد الاحتكاك .

الرسم الثانى : بوجود طبقة الزيت وإبعاد النهايات عن بعضها يقل الاحتكاك .

الرسم الثالث : تحويل الاحتكاك الجاف Dry-friction إلى احتكاك مــائع Fluid-friction وبتوفير طبقة الزيت تفصل بين السطحين ويقل الاحتكاك .



<u>ثانياً فى حالة الاحتكاك الدوار</u> : Rolling type يرتكز العمود على المحمل فى حالة السكون كما فى شكل (٥ ـ ٢ أ) ويزيح الزيت من أسفله ، وعند دوران العمود كما فى الشكل (٥ ـ ٢ ب) يسحب معه الزيت حيث يرفع العمود عن موقع ارتكازه ويكون أسفين الزيت Film-wedge له ضغط مرتفع جداً .



(٥ ـ ٢ ب)

OIL HOLE

SHAFT AT REST

METAL TO METAL CONTACT

شكل (٥ ـ ٢ أ)

وتوجد ثلاث عوامل تحكم اختيار لزوجة الزيت المناسبة لتزييت محمل تحت الظروف العادية وهى : سرعة الانزلاق ـ الخلوص ـ الضغط المؤثر .

<u>وسرعة الانزلاق</u> = $\frac{\text{المحيط} \times \text{عدد اللفات}}{\text{ثانية}}$ = م / ثانية .

<u>ويعتمد الخلوص</u> على سرعة الدوران ، فكلما زادت السرعة قل الخلوص ، وكلما قلت السرعة زاد الخلوص ، ويحتاج لزيت ذات لزوجة أعلى .

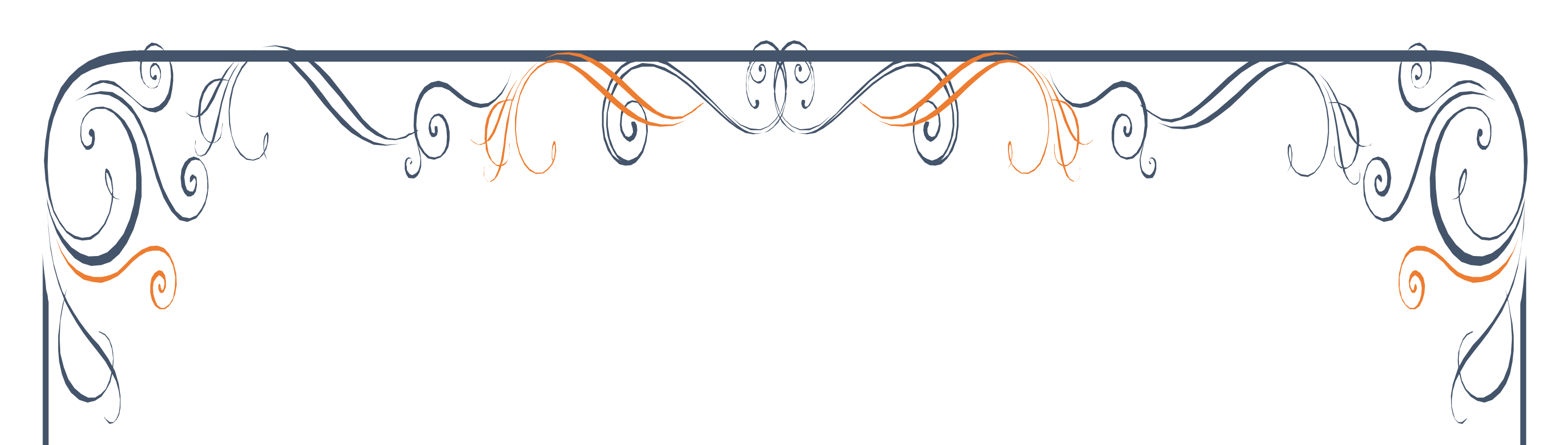
<u>والضغط المؤثر</u> = (الحمل / مساحة المحمل) ، وعادة كلما زاد الحمل يجب زيادة لزوجة الزيت .

<u>ولضمان تزييت المحرك الديزل على الوجه الأكمل يجب توفير الآتى :</u>

أ- طبقة رقيقة من الزيت المناسب بين محاور عمود المرفق والمحامل .

ب- طبقة رقيقة من الزيت المناسب لتزييت عمود الحدبات ومجموعة الصمامات وخلافه .

ج- طبقة رقيقة من الزيت المناسب بين المكبس وجدران الاسطوانه .



<u>ملحوظـــة :</u>

استمرار سريان زيت التزييت يعمل على انتقال الحرارة وتبريد المكبس ونظافة المحرك من الداخل .

<u>أما ضغط الزيت أثناء مروره بمجارى أجزاء المحرك يتعرض للآتى :</u>

- ينخفض ضغط الزيت داخل المجارى نتيجة الاحتكاك .
- مقاومـــة الزيت للدخـــول فى ثقوب أجزاء تدور وذلك نتيجـــة لتـــأثير القـــوة الطاردة المركزية .
- تسرب الزيت من خلال المحامل يقلل من ضغطه .
- قوة القصور الذاتى الواقع تحت تأثيرها الزيت فى المجارى داخل الأجزاء الترددية كذراع التوصيل والمكبس .

والصعوبة التى تظهر خلال التشغيل والتى تؤثر على تحقيق ذلـك هـو تلـف الزيـت Deterioration بتأثير الضغوط ودرجات حرارة التشغيل العالية ، ولهـذا يلـزم دراسـة خواص زيت التزييت .

٢ـ٥ خواص زيوت التزييت

Properties of lubricating oil

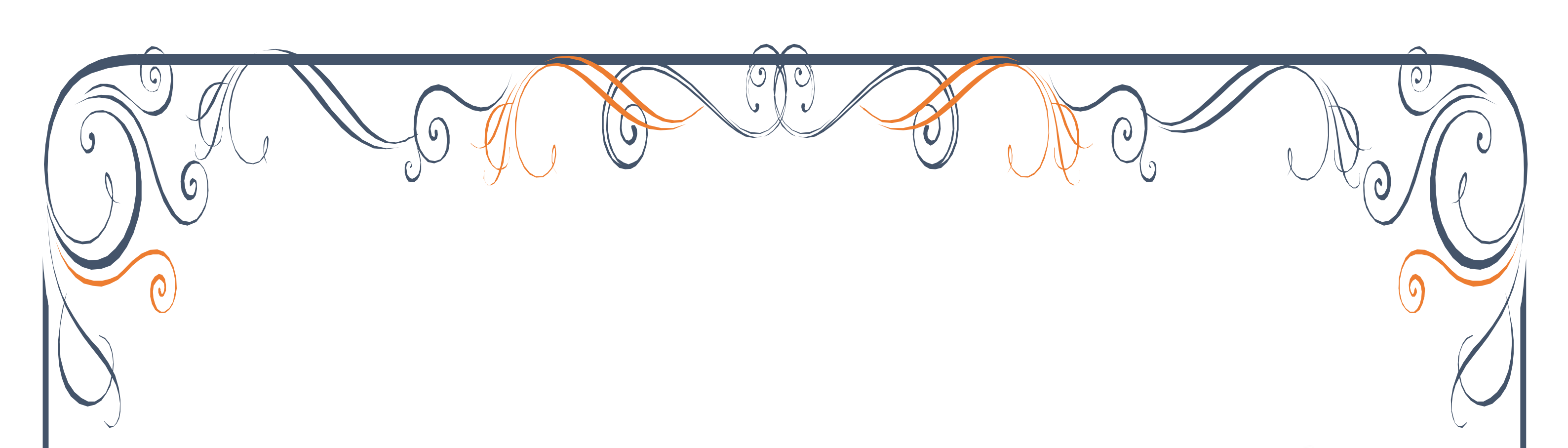
تختلف الخواص الطبيعية لكل زيت من زيوت التزييت ، ويمكن قياس هـذه الخـواص بعمل اختبارات معملية .

<u>والخواص الهامة التى تقاس بواسطة الاختبارات المعملية هى :</u>

<u>اللزوجة</u> Viscosity :

هى الاحتكاك الداخلى لجزيئات المائع والتى تقاوم السريان ، وتعتبر اللزوجة من أهـم خواص زيوت التزييت حيث يمكن بها تحديد مقدار استطاعة طبقة الزيت على الفصل بـين أسطح المعادن المختلفة ومنعها من الاحتكاك ، وعلى ذلك فهى تتحكم فى برى المحمـل Bearing-Wear وتقاس بـ (سنتيستوك) عند درجة حرارة ٥٠° م .

كما أن كثير من المنتجين صنفوا الزيوت المختلفة على أساس اللزوجة .



وأن تخانة طبقة الزيت التى تفصل بين السطحين عن بعضهما لتقليل البرى تتناسب مع لزوجة الزيت عند ظروف التشغيل المعينة ، وعند تساوى جميع الظروف فإن زيت التزييت الأفضل هو الذى تكاد لا تتغير لزوجته عند تغير درجات الاحرارة (ذات مقاومة عالية لتغير اللزوجة) ويقاس ذلك بدليل اللزوجة Viscosity-Index معدل تغير اللزوجة بتغير درجة الحرارة .

درجة التغيم Cloud point

عند انخفاض درجة حرارة الزيت تزيد لزوجته ، فإذا استمر نقصان هذه الدرجة إلى مقدار لا يتدفق فيه الزيت (أصبح متجمداً) ــ فإن هذه الدرجة هى أساس احتساب درجة تغيم الزيت .

ويمكن اعتبارها بأنها ٢,٧ °م فوق درجة الحرارة التى لا يتدفق فيها الزيت بسبب انخفاض درجة الحرارة ، وهى هامة لضمان وصول الزيت إلى أجزاء المحرك خاصة فى الجو البارد .

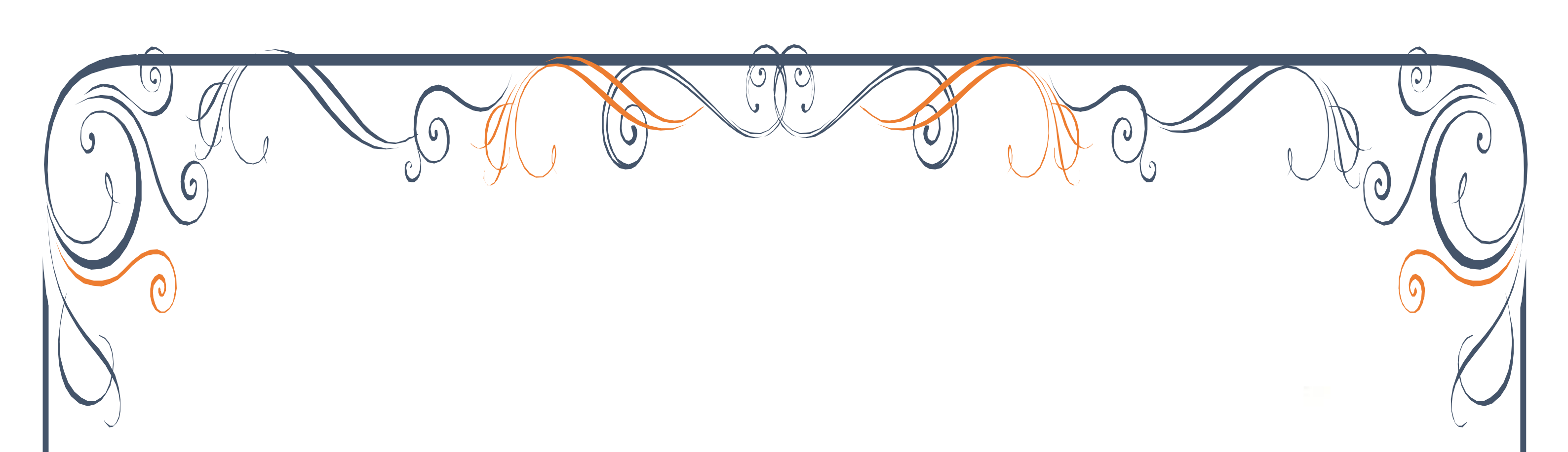
الكربون المتخلف : Carbon residue

ويعبر عنها بالنسبة المئوية لوزنها إلى الوزن الأصلى للزيت قبل التسخين .

ولقد فقد هذا الاختبار أهميته حديثاً ، حيث ظهر أنه لا يعطى تقديراً حقيقياً لكمية الكربون التى تترسب داخل المحرك ، لأن الكربون لا يترسب نتيجة للزيت فقط بل هناك عوامل مختلفة أخرى تتدخل فى ذلك كنوع الوقود المستعمل ونوع المحرك ومقدار الحمل ، كما أن هذا الاختبار لا يحدد نوع هذه الرواسب الكربونية برغم ما لهذا التحديد من أهمية ، إذ أن بعض الزيوت تكون رواسب صلبة تتجمع داخل مجارى حلقات المكبس وتعمل على التصاقها ، ومنها ما يكون رواسب كربونية هشة تتسرب إلى الخارج مع غازات العادم .

قابلية التأكسد : Oxidation

جميع الزيوت البترولية تتفاعل كيميائياً مع الأكسيجين (أو تتأكسد) ولكن معدل التأكسد متغير بدرجة ملحوظة ، وهذا المعدل لا يعتمد فقط على نوع الزيت ولكن على درجة الحرارة التى يعمل عندها .



ومعظم الزيوت عند أكسدتها تكون أحماض عضوية Organic acids ورواسب طينية Sludge deposits لها خاصية التماسك على أسطح المعدن عند درجات الحرارة العالية حيث تكون مواد صلبة Varnish deposits .

<u>رقم التعادل :</u> Neutralization value

يعبر رقم التعادل عن درجة حموضة الزيت ، ويعرف بـ : عدد الميلليجرامات من هيدروكسيد البوتاسيوم KOH اللازم لمعادلة الحامضية الموجودة فى جرام واحد من الزيت .

<u>الرقم القاعدى الكلى</u> Total base No . (T.B.N)

لا يمكن استخدام رقم التعادل لمقارنة الزيوت القلوية – وهى زيوت تحتوى على إضافات كيميائية – ولذا يستخدم رقم آخر وهو الرقم القاعدى الكلى ويعرف بـ :
عدد المللیجرامات من هيدروكسيد البوتاسيوم KOH الذى يكافئ كمية الحامض اللازمة لمعادلة ١ جرام من الزيت .

<u>نسبة الماء :</u> Water content

لا يجوز أن تزيد نسبة المياه فى الزيت عن ٠,٢% وتستخدم المنقيات لإزالة الماء والشوائب من الزيت .

٥ - ٣ أنواع الزيوت
Lubricating oil types

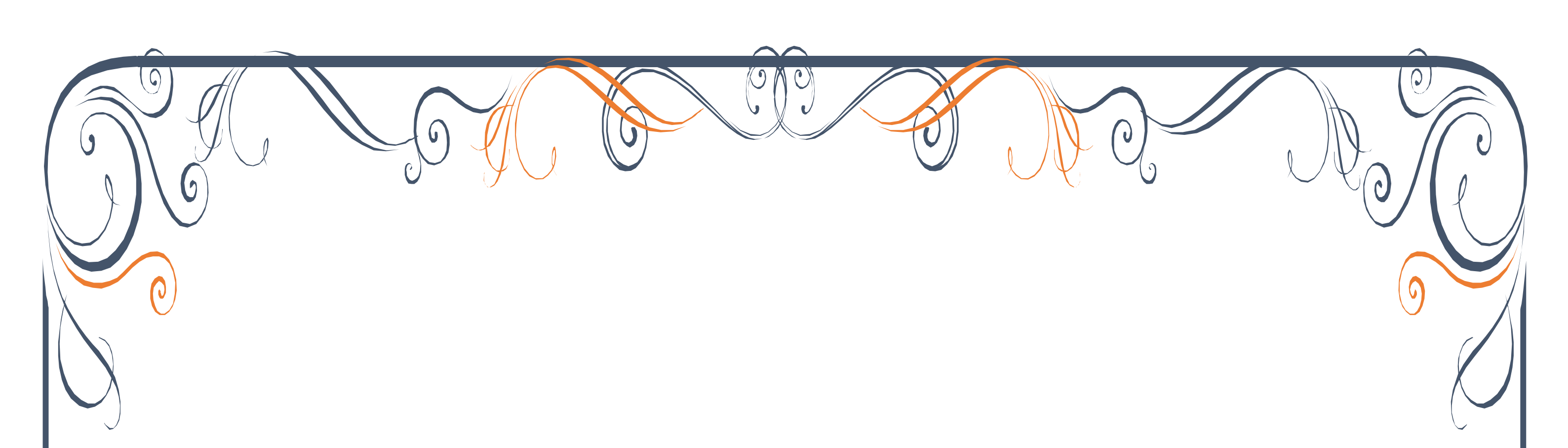
تنقسم زيوت التزييت المستخدمة فى المحركات الديزل إلى أربعة مجاميع رئيسية وهى :

<u>أ – زيوت معدنية صافية :</u> Pure mineral oils

وهى لا تحتوى على أى إضافات وتنتج مباشرة من عمليات التقطير وهى نادرة الاستخدام فى محركات الديزل .

<u>ب – زيوت رائجة :</u> Premium oils

وهى تحتوى على كميات صغيرة من الإضافات لتحسين خاصية التأكسد Oxidation و التآكل Corrosion والرغوة Foaming .



جـ ـ زيوت الخدمة الشاقة : Heavy duty L.O.

وهى تحتوى على إضافات أخرى علاوة على تلك المذكورة فى (ب) مثل المطهرات Detergents والمشتتات والقلوية Alkaline .

د ـ زيوت قلوية : Alakalines oils

وهى بدورها تنقسم إلى ثلاثة مجموعات طبقاً للرقم القاعدى الكلى :

خفيفة القلوية	T.B.N. = 3 : 14
متوسطة القلوية	T.B.N. = 15 : 39
عالية القلوية	T.B.N. = 40 : 75

٥ ـ ٤ اختيار زيت التزييت لمحرك الديزل

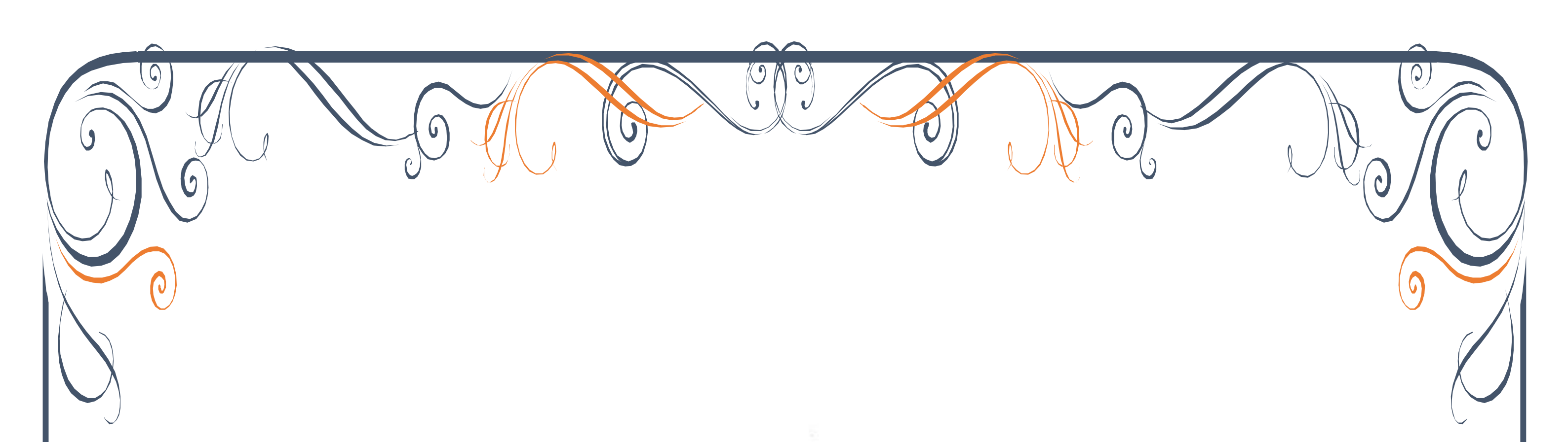
Selection of L.O. for a diesel engine

لقد تعاون منتجو المحركات الديزل مع منتجى الزيوت على اختيار أنسب الزيوت لكل محرك وعليه تزود معلومات التشغيل Instruction ـ books ببيان الزيوت المناسبة والمعادلة لها من الشركات المختلفة .

وعند وجود أى صعوبات تظهر أثناء التشغيل يمكن للمسئول الاتصال بالمنتجين وإعطائهم البيانات اللازمة ، وعليه يقوم المنتج بإعطاء التوصيات .

وليكن معلوماً أن الشركات المنتجة الكبرى قد تبنت مشاكل التشغيل وأجرت البحوث الطائلة للتوصل إلى أفضل أنواع الزيوت والتى تلائم ظروف التشغيل المختلفة ، وللآن لم يتم التوصل إلى الزيت المثالى ، ولكن النتائج الحالية تبشر بالخير ، حيث أنه قد تم التغلب نسبياً باختيار الزيت المناسب على معظم المشاكل ـ وعلى سبيل المثال قد قل معدل البرى فى جلب اسطوانات المحركات الكبيرة إلى أقل من ٠,١ مم /١٠٠٠ ساعة تشغيل،بالرغم من استعمال الوقود الثقيل ذات لزوجة 3500 Sec. Red . I at 100° F ونسبة كبريت ٥% ، وهذا المعدل يقل عند استخدام وقود الديزل .

ونظراً لاختلاف الظروف التى يعمل عليها زيت تزييت الاسطوانة وزيت تزييت المحامل فإنها تختلف تماماً فى المحركات الكبيرة ولا ننسى أن اختيارها يعتمد على : نوع المحرك ـ الوقود المستخدم ـ طريقة تبريد المكبس ـ الضغط المتوسط الفعال .



فبالنسبة للمحركات البطيئة والتى يوجد فيها فاصل بين حيز الاسطوانات وحيز عمود المرفق ، فيستخدم نوعين من الزيت :

أ ــ زيت خاص بالاسطوانات ويناسب ظروف التشغيل الصعبة .

ب ــ زيت خاص بصندوق المرفق لتزييت المحامل .

أما بالنسبة للمحركات الجذعية يقوم الزيت بتزييت الاسطوانات والمحامل معاً ، فيتعرض للتلوث من نواتج الاحتراق ، وعليه يجب تنقيته واختباره دائماً للتأكد من صلاحيته .

٥ ــ ٤ ــ ١ تزييت الاسطوانه : Cylinder lubrication

عندما يتم تزييت اسطوانة محرك يعمل بالوقود الثقيل والذى يحتوى على نسبة عالية من الكبريت ، وتستخدم الزيوت القلوية لمعادلة الحامض المتكون من الاحتراق فيقل البرى وعلاوة على ذلك يمكن المحافظة على طبقة الزيت فيقل تسريب الغازات .

هذا مع الإحاطة أن القلوية العالية تؤدى إلى زيادة نسبة الرماد والترسبات ، وعليه تعطى عناية خاصة لاختيار الزيت المناسب تبعاً لنسبة الكبريت فى الوقود والآتى بعد بيان يمكن الاسترشاد به :

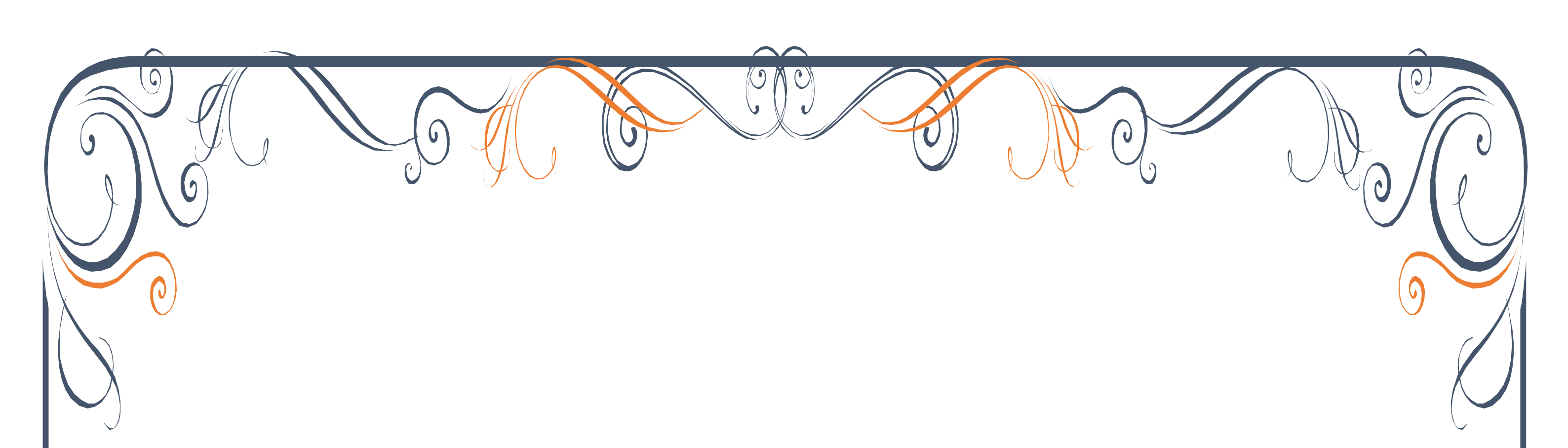
Fuel sulpher content %	0.5	1.0	1.5	2.5	Over 2.5
Cyl L.O. T.B.N.	5	10	20	40	40 : 70

كما يجب أن تتوافر الاشتراطات التاليه فى زيوت تزييت الاسطوانة :

١. تكون طبقة غير متقطعة من زيت التزييت على جدار الاسطوانة بالرغم من ظروف التشغيل القاسية من ضغط عال ودرجة حرارة مرتفعة وذلك لتقليل البرى ومنع تسرب الغازات بين حلقات المكبس والاسطوانة .

٢. لها خاصية الانسياب للانتشار بسرعة على جدار الاسطوانة والاحتفاظ بطبقة ذات سمك متساوى .

٣. تحتفظ بأقل بقايا كربونية عند تبخرها ، وقد يكون من المستحيل تلافى هذه الرواسب كلية ولكن تكون بنسب صغيرة ، ومن النوع الهش سريع التشتت .



٤. تكون متزنة كيميائياً ، أى لا تتغير من صورة إلى أخرى بارتفاع درجة الحرارة ، لتجنب تكوين المواد الصمغية Gum نتيجة التأكسد .
٥. تتعادل مع الحامض المتكون والناتج عن احتراق الوقود الذى يحتوى على الكبريت لتقليل التآكل .
٦. لها القدرة على إزالة المواد الكربونية المترسبة على مجموعة الشنابر .

وبالحصول على الزيت المناسب يبقى تحديد أنسب كمية ومكانها وتوقيتها ، وعلى أن يكون الحقن بضغط يزيد عن الموجود فى منطقة الحقن فى تلك اللحظة .

ويتم ذلك فى المحركات الكبيرة باستعمال المزايت الآلية للتغذية الجبرية Mechanical- lubricators التى تأخذ حركتها من عمود الكامات .

ومن دراسة إحدى الشركات الصانعة المتقدمة يمكن أخذ الفكرة التالية :

أنسب مكان للحقن هو بين حلقات المكبس الأولى والثانية أثناء صعود المكبس ، والكمية بالنسبة للدورة للنقطة الواحدة ٦,٣ مم^{٣} (بواسطة مزيتة Lubricator سرعتها ١١٥ لفة / دقيقة وسعتها ٣ جالون / اسطوانة فى اليوم) وفترة الحقن ٢ درجة من زوايا المرفق .

والوضع الرأسى للمزايت فى الجلبة يختلف من صانع إلى صانع وهى فى دور دراسة مستمرة ويختلف من تصميم إلى آخر كما سبق ذكره فى (٢ ــ ٣ ــ ٣) .

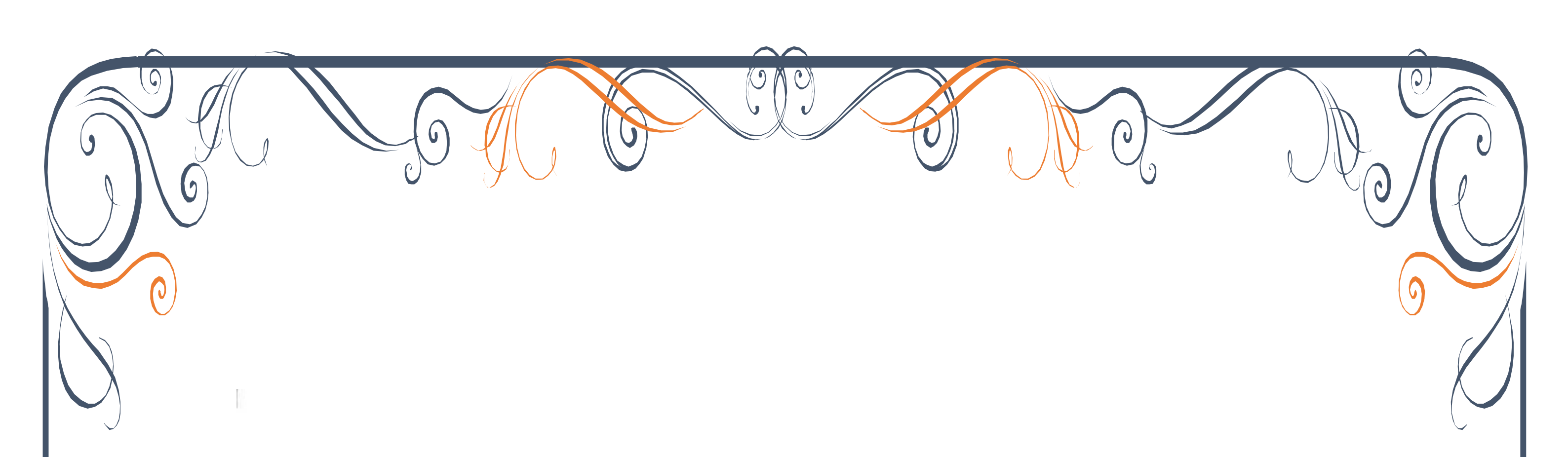
٥ ــ ٤ ــ ٢ زيوت صندوق المرفق Crank-case oils

والمقصود بهذه الأنواع : الزيوت التى تستعمل لتزييت المحامل الرئيسية والنهايات الكبرى والصغرى لأذرع التوصيل وبالطبع تتعرض هذه الزيوت للأحمال العالية . وقد زاد ضغط التحميل على المحمل حيث وصل إلى ١٧٦ كج / سم٢ فى بعض المحركات الحديثة ذات الشحن الجبرى العالى . ولذلك فقد أعطى المصممون اهتماماً بالغاً فى تصميمها .

ومن ناحية أخرى أمكن تحسين خاصية تحمل الحمل Load-carrying للزيت باشتمالها على إضافات كيميائية معينة .

وللحصول على أداء جيد يجب أن تتوافر الاشتراطات التالية فى زيوت تزييت المحامل :

١. لها خاصية معادلة الحامض لمنع تآكل سبائك المحامل .



٢. لها القدرة على عدم الاستحلاب Emulsion عند وصول الماء إليه حتى يمكن تنقيته بالمنقيات .

٣. تجمع بين اللزوجة الكافية لتحمل الأحمال العالية ، وكذلك اللزوجة المناسبة التى تسمح بانتقال الحرارة (اللزوجة المفضلة هى حوالى $35 \, (CST.) \frac{mm^2}{sec}$

٤. لها معدل تأكسد ثابت ، ويمكن تحسينه بالإضافات التى تمنع زيادة هذا المعدل عند ارتفاع درجات الحرارة .

٥. تحتفظ بالشوائب والكربون المتكون بحالة عالقة وذلك لسهولة تنقيته ، وعلى ذلك يجب أن تكون درجة حرارته حوالى ٥٥° إلى ٦٠° م (وتفضل أن تجرى عمليه التنقية عند حوالى ٦٠ : ٦٥° م) .

٦. تحتوى على إضافات لمنع تكوين الرغوة Foam .

ولذا يفضل استخدام زيت الخدمة الشاقة فى لمحركات الديزل ذات المكبس الجذعى والتى تعمل بالوقود الثقيل .

وتختلف كيفية تزييت المحامل فى محركات الديزل تبعاً لنوع المحرك . وقد سبق دراستها بالتفصيل فى (٢ ــ ٩) .

٥ ــ ٤ ــ ٣ منظومة التزييت Lubricating-oil system

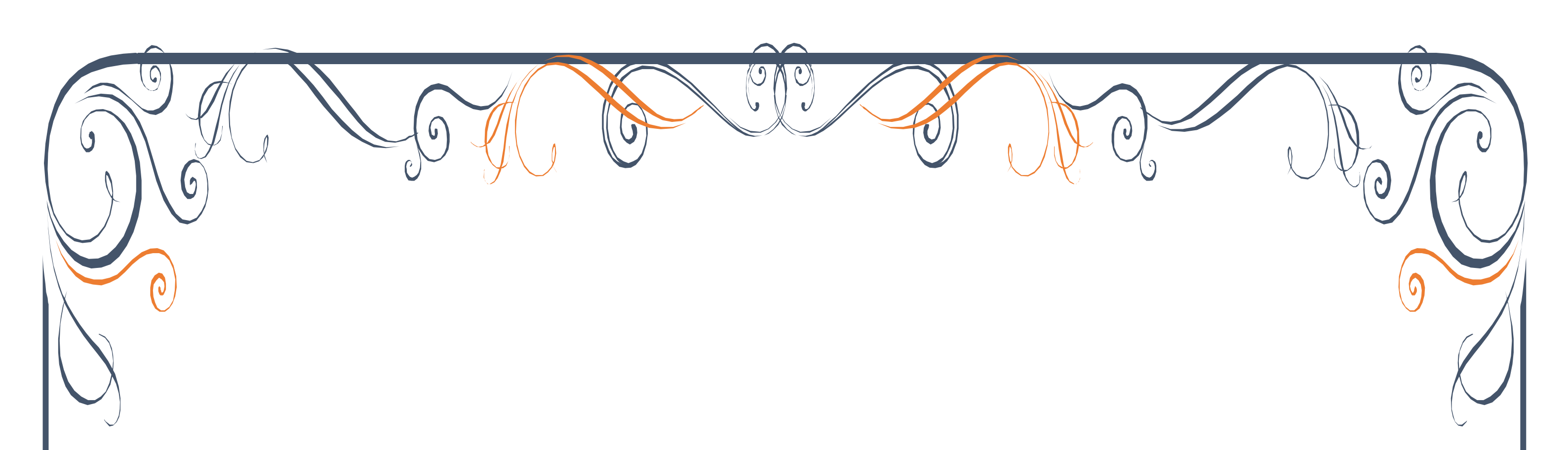
فى المحركات الرئيسية الكبرى يكون الكارتير من النوع الجاف Dry-sump فى معظم الأحيان ، ويوجد صهريج التصافى Oil drain-tank لتجميع الزيت . والشكل (٥ ــ ٣) يوضح أحد هذه المنظومات .

المنظومة الأساسية :

تسحب المضخة الزيت من صهريج التصافى عن طريق مصفاة Strainer ويكون السحب من مكان مرتفع عن نقطة تجمع الماء والرواسب الطينية Sludge .

يتجه الزيت تحت ضغط إلى المبرد عن طريق الفلاتر ، وبهذا نضمن عدم تسرب أى مياة تبريد إلى الزيت عند حدوث عيب بالمبرد .

ويمر الزيت بعد ذلك على ماسورة التزييت الرئيسية للمحرك ،حيث يتم التوزيع طبقاً للضغط المطلوب لكل جزء:

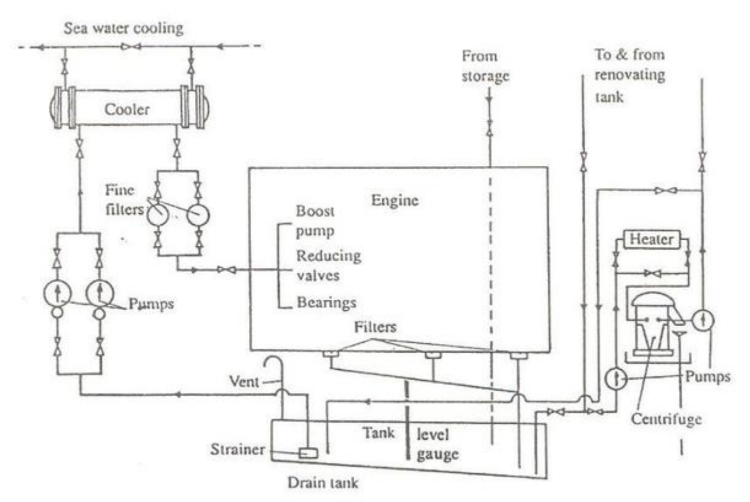


- تخفيض الضغط إلى حوالى (٢ بار) خط الكراسى الرئيسية .
- رفع الضغط إلى حوالى (٦ : ١٢ بار) للرؤوس المنزلقة بواسطة مضخات الرفع Boost pump .
- الاحتفاظ بالضغط (٤ بار) لمؤازر Servomotor عكس الحركة .

بعد ذلك يتجه الزيت المستعمل إلى صهريج التصافى بواسطة ماسورة مغمورة وفى مكان بعيد عن سحب المضخة .

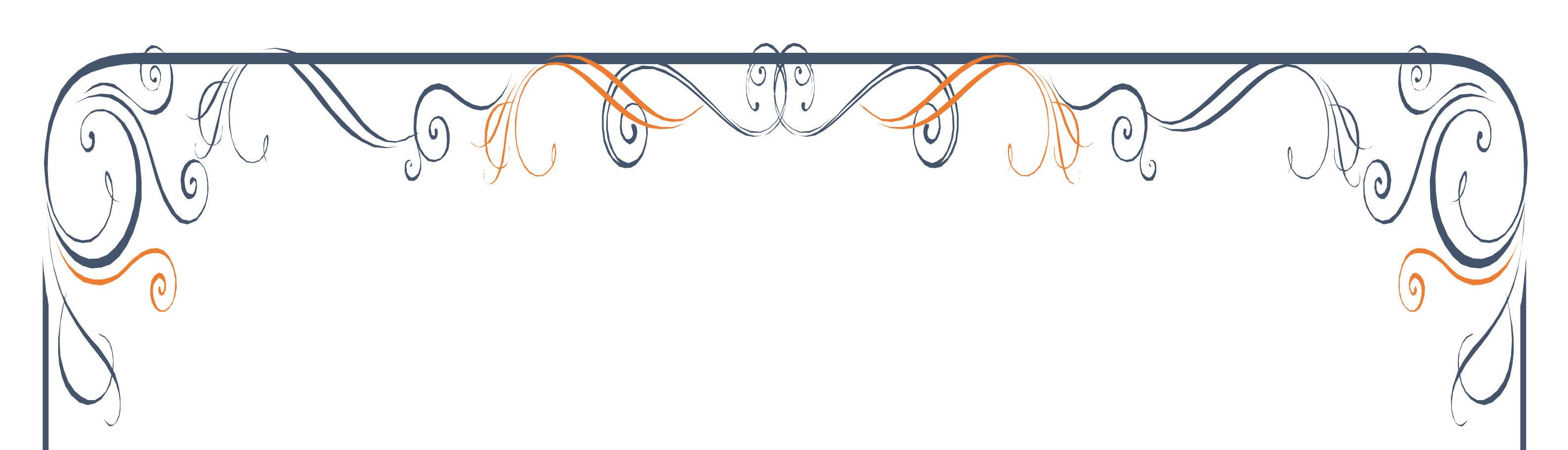
ويتواجد صهريج التصافى عادة فى القاع المزدوج من بدن السفينة ، ويحاط بفاصل Cofferdams لمنع التلوث بالوقود ، ويزود بهواية ومبين للمستوى ومقياس Sounding pipe .

ويجب تزويد المنظومة بأجهزة إنذار Alarms للتنبيه فى حالة انخفاض مستوى الزيت أو الضغط أو عند ارتفاع درجة الحرارة .



Lubricating oil system

شكل (٥ ــ ٣)



<u>المنظومة الملحقة :</u>

يلحق بالمنظومة السابقة منظومة أخرى للمنقى Purifier حيث تسحب المضخة الخاصة به الزيت من أوطى نقطة بالصهريج وتضخه فى مكان السحب بعد تنقيته . ويراعى تشغيل المنقى باستمرار فى البحر ، وربما تتطلب جودة التنقية تسخين الزيت إلى درجة حرارة مناسبة لا تزيد عن ٨٠° م .

<u>ملحوظة :</u>

يجب مراعاة الاستهلاك بملاحظة مستوى الزيت وتعويضه أولاً بأول ، وإذا توقف المحرك عن التشغيل لمدة طويلة فيجب تنقية الزيت خلالها لمنع تعرضه للتحلل الميكروبى .

٥ . ٥ . الزيوت ذات الإضافات

L.O. with additives

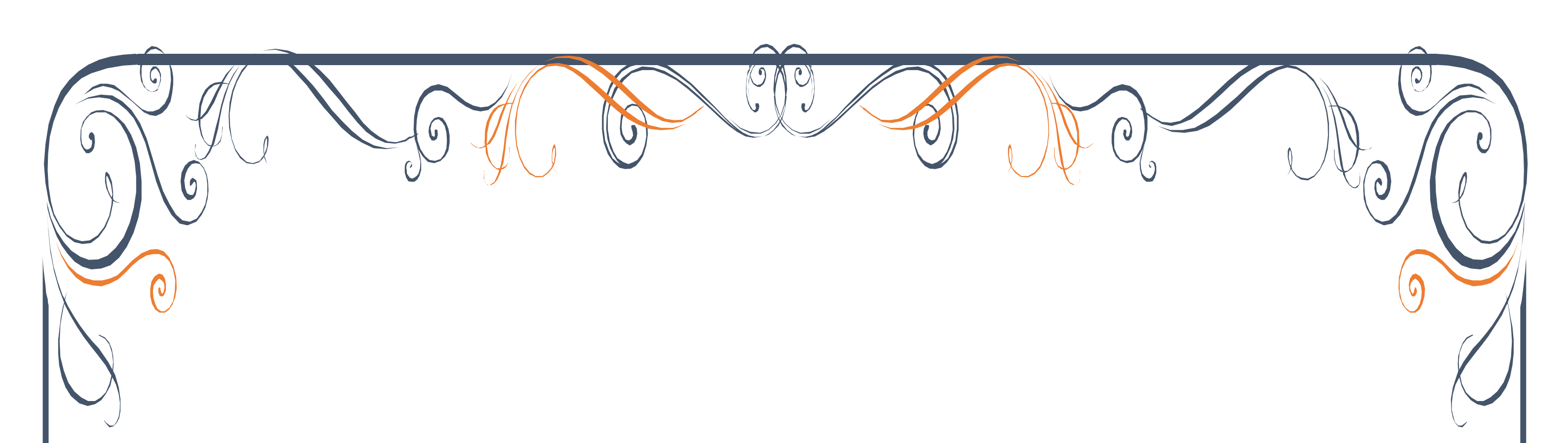
أمكن الحصول على زيوت التزييت المعدنية بصورتها المبسطة من عمليات تقطير البترول الخام ، ولكن بصورتها هذه لا يمكن أن تحقق المطلوب منها بكفاءة نظراً لظروف التشغيل الصعبة .

وعليه فقد قام المنتجون بعمل دراسات لانتاج أنواع عديدة ذات صفات مميزة ، وفعلاً تم التغلب على معظم مشاكل التزييت ، وذلك باشتمالها على بعض المواد الكيميائية التى يطلق عليها <u>الإضافات</u> Additives .

ويمكن تعريفها بأنها المواد الكيميائية التى تضاف إلى زيوت التزييت المعدنية لتحسين خواصها الطبيعية ، وفى بعض الأحيان للحصول على زيوت ذات خواص جديدة . وربما تكون كمياتها صغيرة جداً كأجزاء من المليون P.P.M. كما فى حالة خامد الرغوة Foam Suppressant وربما تزيد عن ٢٠% كما فى حالة المطهرات Detergents فى زيوت الاسطوانات ، ويمكن تصنيفها إلى مجموعتين رئيسيتين :

<u>أ ـ تلك التى تؤثر على الصفات الكيميائية وهى :</u>

- موانع التأكسد Anti-oxidants
- موانع الصدأ Corrosion-inhibitors
- المطهرات والمشتتات Detergent / Dispersant additives
- مخفضات معدل البرى Wear-reducing agents



ب ــ تلك التى تؤثر على الصفات الطبيعية وهى :

- مخفضات نقطة الصب Pour Point depressants
- موانع تكون الرغوة Anti-foam agents
- محسن اللزوجة Viscosity improvers
- موانع الاستحلاب Emulsifying agents
- محسن خاصية الالتصاق Adhesive agents

ويقوم مهندس التشغيل من جانبه بعمل الصيانة اللازمة لمنع هروب غازات الاحتراق من خلال حلقات المكبس أو تسرب المواد الغريبة إلى زيت التزيت ، مع مراعاة دوام تشغيل المنقيات .

موانع التأكسد : Anti-oxidants

جميع الزيوت المعدنية تتحد مع الأكسيجين أو تتأكسد ولكن معدل التأكسد متغير من نوع لآخر ، ونتيجة لذلك تظهر أحماض عضوية تؤثر بشدة على بعض المعادن مثل سبائك لقم المحامل .

إن بعض المواد الكيميائية مثل (الفينول Phenol) لها خاصية الاتحاد لتكون مركب يمنع التأكسد المتتالى .

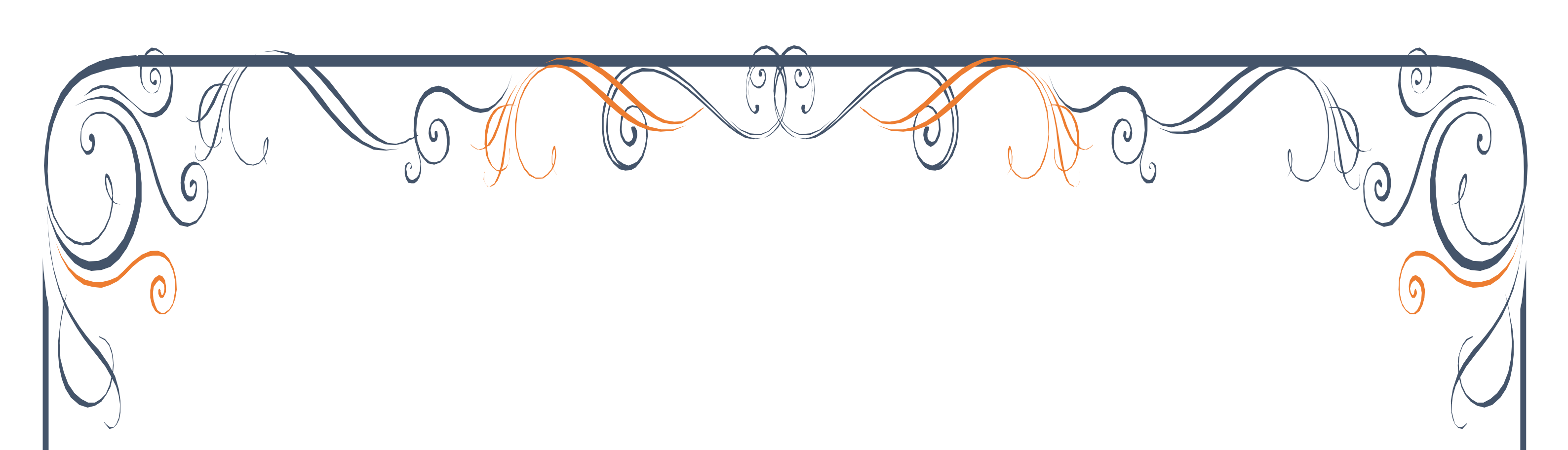
كلما زادت درجة الحرارة يزيد معدل التأكسد ، وتتكون المواد الصمغية والمركبات الكربونية والأحماض .

ويقدر أن معدل التأكسد يتضاعف عند زيادة درجة الحرارة عشرة درجات (بعد الوصول إلى نقطة الحد وهى ٨٠° م) .

موانع الصدأ : Corrosion inhibitors

يعتبر الصدأ عملية طبيعية وبه يتحول المعدن بالتدريج إلى أكسيده نتيجة تفاعل كيميائى .

ويعتبر الصدأ مشكلة خطيرة خاصة بالنسبة للمعادن الحديدية حيث أن الماء أشد انجذابا للحديد أكثر من الزيوت ، وعليه فإنه يحل محل طبقة الزيت ، ولذا تضاف موانع الصدأ التى تكون طبقة لاصقة على سطح المعدن وتحميه من الصدأ .



ويستخدم الصابون المعدنى كمانع للصدأ وهو ممتاز من هذه الناحية ، ولكن لا يخفى علينا أن معظم موانع الصدأ الممتازة تؤدى إلى تكوين مستحلب والذى يجب تجنبه تماماً .

المطهرات والمشتتات : Detergent and dispersant additives

يتكون عادة فى اسطوانات محرك الديزل مواد غريبة ونواتج غير كاملة الاحتراق سواء من الوقود أو زيوت التزييت ، وتترسب كجزيئات صغيرة خاصة على المكبس ومنطقة الحلقات ، وتتفاوت كمياتها طبقاً لنوع الوقود المستخدم وزيت التزييت ونوع المحرك نفسه.

عند استخدام الزيوت المعدنية العادية تتكون هذه الرواسب بكميات متفاوتة وتسبب انسداد بوابات العادم فى حالة المحركات الثنائية الأشواط ، كما تمنع حلقات المكابس من الحركة فى مجاريها .

إن وجود هذه الإضافات بزيوت التزييت تمنع ترسيب هذه المواد وتزيلها أولاً بأول ، وبذلك يمكن زيادة مدة الصيانة الدورية للمكبس إلى حوالى ٨٠٠٠ ساعة ويشترط أن لا تكون هذه الإضافات أى رماد .

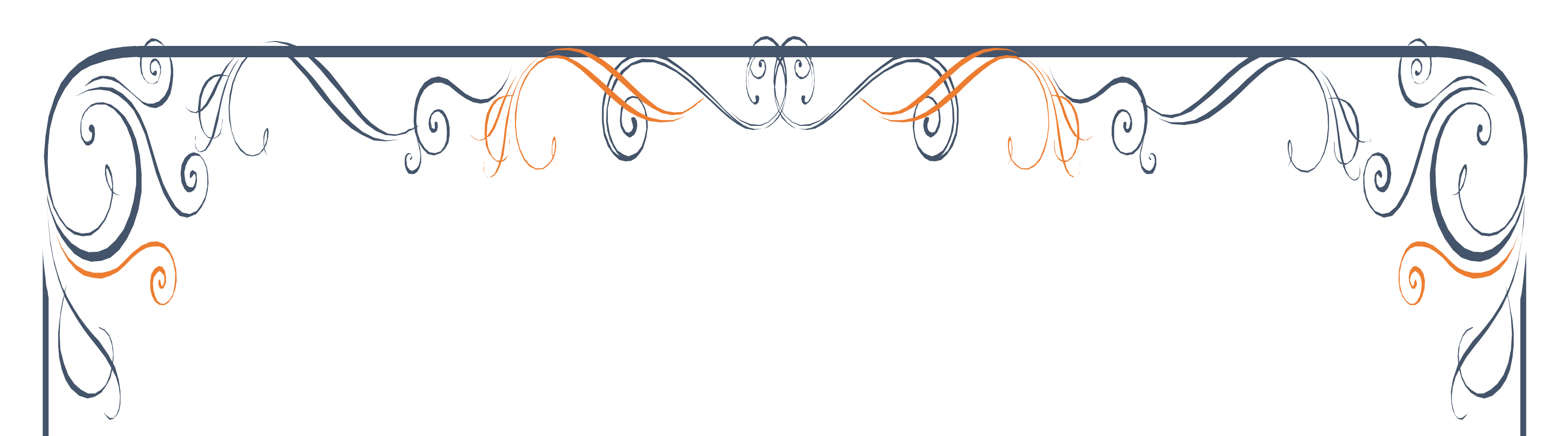
وإن لتشتيت Dispersancy الجزيئات نفس الأهمية ، وذلك لمنع ترسيب المواد الصلبة على شكل كتل ، بل جعلها جزيئات صغيرة عالقة بالزيت ويمكن فصلها بالمنقيات .

مخفضات معدل البرى Wear-reducing agents

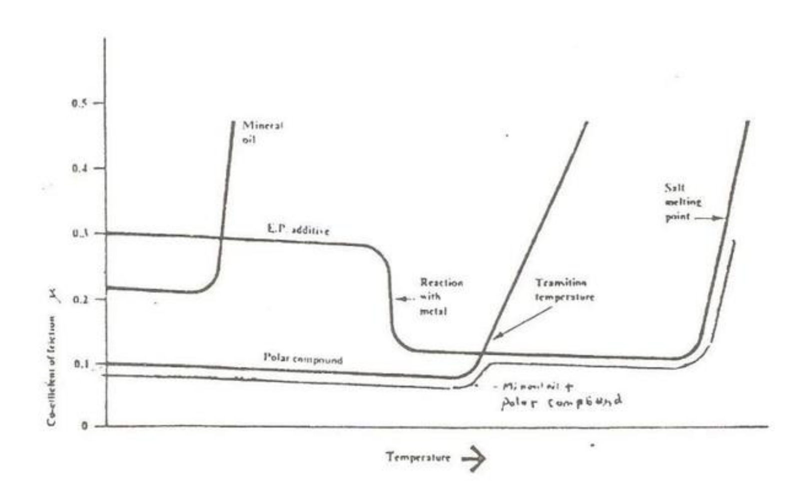
يقل الاحتكاك بين سطحين منزلقين على بعضهما بالاحتفاظ بطبقة من الزيت وبذلك يمكن زيادة الجودة الميكانيكية .

وتكون هذه الطبقة رقيقة فى حالة الأسطح المشطبة ناعماً ، ويزيد سمكها فى حالة الأسطح الخشنة . والعوامل التى تؤثر على جودة التزييت الطبقى هى :

- كلما زادت لزوجة الزيت كلما أمكن الاحتفاظ بطبقة الزيت .
- كلما زادت سرعة الانزلاق (أو الدوران) كلما سهل تكوين طبقة الزيت على السطح .
- كلما زاد الحمل الواقع على العمود كلما كان من الصعوبة الاحتفاظ بطبقة الزيت .
- وجود إمداد كافى ومستمر من الزيت .



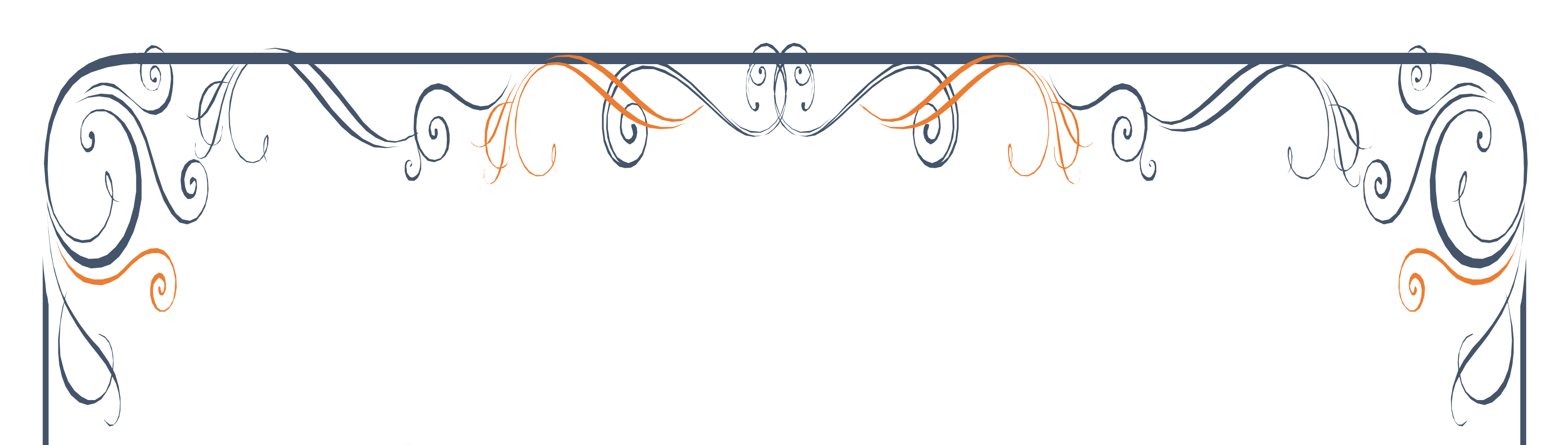
ولذا تشتمل بعض زيوت التزييت على إضافات لتحسين خواصها من هذه الوجهة مثل (محسنات اللزوجة Viscosity improvers) و (محسنات الزيتية Oiliness agents) .
وعند ظروف التشغيل الصعبة التى لاتقلل فيها الإضافات السابقة من أحتمال التعرض للتزييت الحدى Boundary-lubrication ، فيستخدم إضافات أخرى تناسب الضغوط العالية Extreme pressure additives ، والشكل (٥ ـ ٤) يوضح مدى تأثير هذه الإضافات على تقليل معامل الاحتكاك مع ارتفاع درجات الحرارة .



شكل (٥ ـ ٤)

مخفضات نقطة الصب : Pour point depressants

يظهر تأثير هذه الإضافات فقط فى حالة الزيوت البرافينية ، وتتكون من مركب كيميائى ذا وزن جزيئى كبير يمنع نمو البللورات الشمعية عند درجات الحرارة المنخفضة والتى تعيق سريان الزيت . وتتواجد هذه الإضافات بكميات صغيرة ، ولكنها مهمة جداً خاصة فى حالة المحركات المطلوب بدء حركتها فى الأجواء الباردة .



موانع تكون الرغوة : Anti-foam agents

الرغوة هى خليط من الزيت والهواء ، بعكس المستحلب الذى هو عبارة عن خليط من سائلين . تظهر الرغوة كفقاقيع هوائية كبيرة تحاول الهروب من سطح الزيت بالكارتير على هيئة فوران Over - flow وتؤثر الرغوة على كفاءة ضخ الزيت وتقلل من ضمان وصــول الزيت إلى نقط التزييت المعينة ، وتوجد قفلة هواء Vapour-lock فى المضخات وتكهف Cavitations فى المحامل .

محسنات اللزوجة : Viscosity improvers

تضــاف هذه المواد لزيادة لزوجة الزيت وخاصة عند درجات حرارة التشـــغيل العالية ، وتســتخدم بعض هذه الأنواع فى دوائر التحكــم مــن بعــد الهيدروليكيــة Remote control Hydraulic circuits .

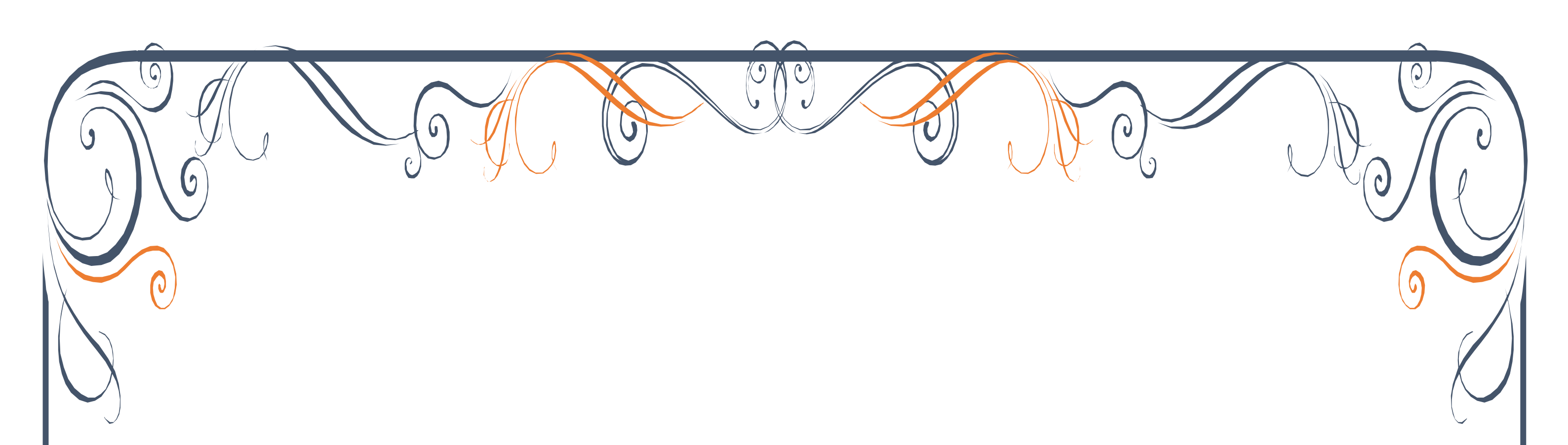
موانع الاستحلاب : Emulsifying agents

يجب ألا تتحول زيوت التزييت إلى مستحلب عند وجود الماء ، وإن وجود المــاء فــى زيوت التزييت شئ مرفوض تماماً ، لذا تستخدم الفواصل Separators لتخليص الزيت من الماء .

وقد توجد بعض الاستخدامات للزيوت المستحلبة وعلى سبيل المثال فــى حالــة قطــع المعادن (تكون نسبة الزيت للماء متفاوتة من ١ : ٦٠ إلــى ١ : ١٠) وأيضــاً تبريــد المكابس فى محــركات الديزل البحــرية الكــبيرة ، وذلك لمنع الصدأ وتزييت الوصلات (الماسورة التلسكوبية أو الأذرع المتأرجحة) .

محسن خاصية الالتصاق : Adhesive agents

وهى ضرورية وهامة لبعض الزيوت المستخدمة فى المجال البحرى وعلى سبيل المثال علب التروس المفتوحة وأسلاك الرباط ومعدات تداول الشحنة وروافع قوارب النجاة حيــث أنه ممنوع تساقط الزيوت على السطح . وعلى ذلك فإن هذه الإضافات تزيــد مــن قابليــة الزيوت والشحومات للالتصاق والتماسك بالرغم من الرطوبة ، فتحسن التزييت وتحمــى المعدن من الصدأ .



٥ - ٦ فساد الزيت

Oil-deterioration

ربما يفسد الزيت من نفسه أو يفسد من تلوثه بمكونات خارجية .

أولاً : من نفسه نتيجة الآتى :

١ – ارتفاع درجة حرارة الزيت عن القيمة المسموح بها فتسبب :

أ – تأكسده وتغيير طبيعته ، ويصبح حمضى ، ويكون ذلك بسبب صغر خلـوص الكراسى ، عدم دوران المحرك وسريان الزيت بعد التوقف ، عدم الاستخدام الصحيح لمسخنات المنقيات .

ب – تكسير جزيئات الزيت وانفصال البناء الجزيئى حيث يتحول الزيت إلى مواد كربونية .

٢ – تحلله الميكروبى Microbial degradation of oil

ويتأتى ذلك باصابة الزيت بفطريات مجهريـة تعـيش علـى الهيـدروكربونات ، والإضافات الموجودة به ، وتتكاثر بسرعة فى البيئة المناسبة لها وهى : درجة الحرارة المناسبة وخاصة عند تواجد المياه فى الزيـت ، فيصـبح الزيـت حمضياً كما يتحول الزيت إلى وحل Sludge مع استنفاذ الإضافات .

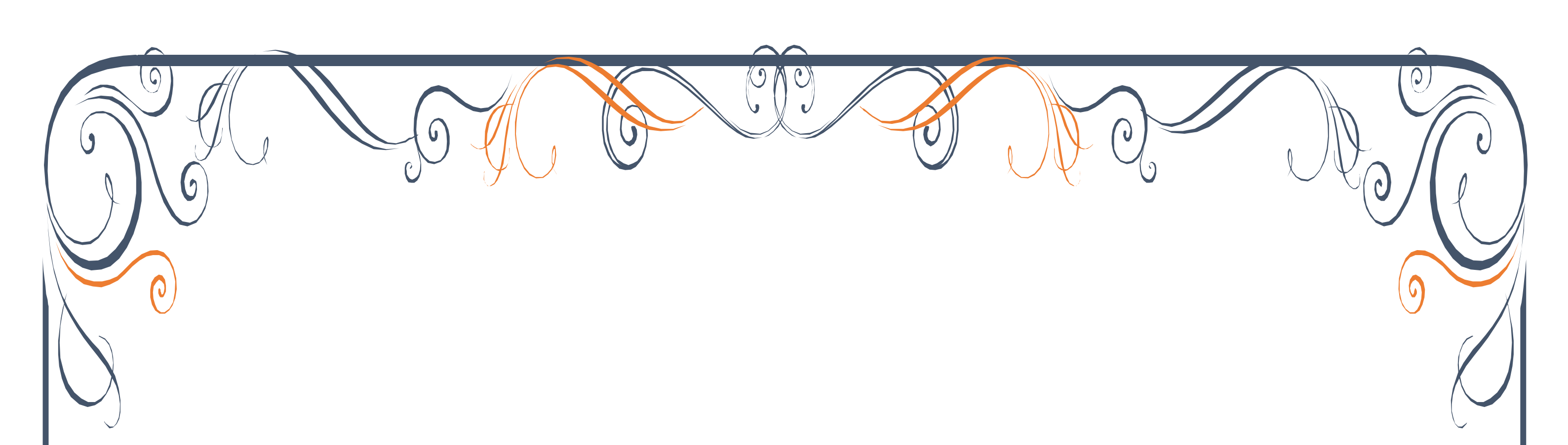
وعليه تظهر مشاكل عدة مثل : التأكل بالصدأ ، وزيادة البرى بالسبائك ، انسـداد الفلاتر، علاوة على أن الزيت يصبح ميال للاستحلاب والتصبن .

ويمكن اختبار الإصابة بالفطريات باستخدام مادة جيلاتينية خاصة توضع بالزيـت ويجرى عليها عملية تحضين للمساعدة على التكاثر أو الاستزراع ، ثم يقارن هذا الاستنباط بخرائط ملونة ذات مستويات معينة ، ومنه يمكن تحديد مدى الإصابة .

الوقايـــــــــة :

لا تحدث هذه الإصابة إذا اتبعت النظافة التامة بالمنظومة ، وعدم تلوث الزيت بالمياه أو التخلص منها أولاً بأول . وتوصى التعليمات بعدم زيادة نسبة المياه فى الزيت عن ٠,٢%

كما يجب تمرير الزيت على المنقى كل ٨ ساعات .



ثانياً : تلوثه بمكونات خارجية ، يوجد خمسة أنواع من هذه الملوثات وهى :

- نواتج الاحتراق عند هروبها إلى الكارتير .
- تسرب المياه من حواكم القمصان أو المواسير التلسكوبية إلى الزيت .
- تسرب بعض الوقود من المضخات .
- اختلاط الزيت بالذرات المعدنية مثل نواتج البـرى ، أو التآكـل أو الرمـل والأتربة أو صدأ الصهاريج .
- تلوث زيت الكارتير بزيت الاسطوانات .

٥ ـ ٧ اختبار صلاحية زيوت التزييت

Lubricating-oils test

عندما يكون المحرك جديداً ، يجب تنظيف الكارتير ودائرة الزيت تماماً مـن الشـوائب والأوساخ مثل (الرمل ــ التراب ــ المياة ــ البرادة ــ الصدأ ، أى مواد غريبة أخرى) ، وربما يتطلب ذلك الطرق على المواسير ويستخدم الزيت للغسيل وتفتح الفلاتـر وتنظـف خلال هذه المرحلة ، ثم يتم تغيير الزيت بالنوع المعين .

بعد أول ٣٠٠ ساعة تشغيل يجب إيقاف المحرك ويتم تغيير الزيت نظراً لاحتوائه علـى برادة من احتكاك الأجزاء ببعضها .

يجب باستمرار تنقية الزيت بالمنقيات أثناء التشغيل وتنظيف الفلاتر .

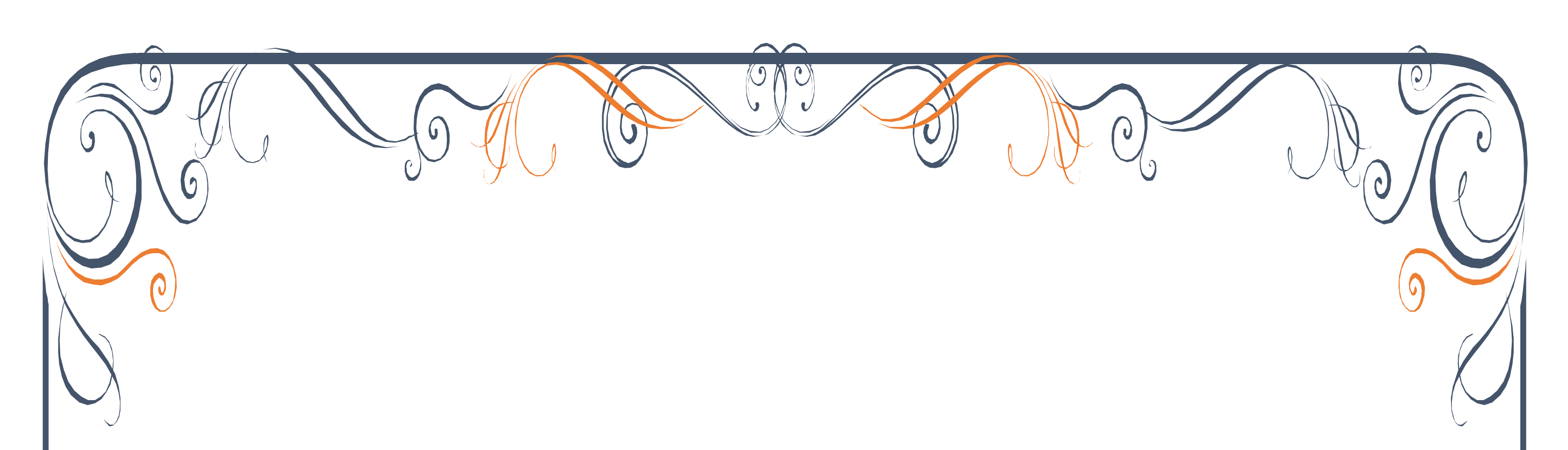
٥ ــ ٧ ــ ١ استهلاك زيت التزييت L.O. consumption

توجد أربعة نقاط تساعد على زيادة استهلاك الزيت بالمحرك وهى :

١. هروب الزيت إلى غرفة الاحتراق .
٢. التحول إلى ضباب أو بخار والخروج من حيز صندوق المرفق .
٣. التسرب من الجوانات أو الوصلات أو الشروخ .
٤. التحلل أو التأكسد .

ويمكن توضيح ذلك كالآتى :

أ- كمية الزيت المحروقة فى غرفة الاحتراق تعتمد على كمية الزيت التى سـمح



بها المكبس والشنابر بالاندفاع إلى الغرفة وهى تعتمد على كمية الزيت المعطاه لسطح الاسطوانه وتصميم الشنابر والمكبس . وأى تآكل فى سطحى الشنابر والجلبة سوف يؤثر على دفع الزيت إلى غرفة الاحتراق .

ب- كذلك فإن زيوت التزيت المحتوية على مواد طيارة سوف تزيد استهلاك الزيت تحت ظروف درجات الحرارة المرتفعة .

ج- كما أن أى تسريب ولو بسيط يستهلك كمية كبيرة من الزيت مع الوقت .

د- كذلك فإن تحلل الزيت فى درجات الحرارة العالية مسئول عن بعض الاستهلاك ولكن بنسبة بسيطة .

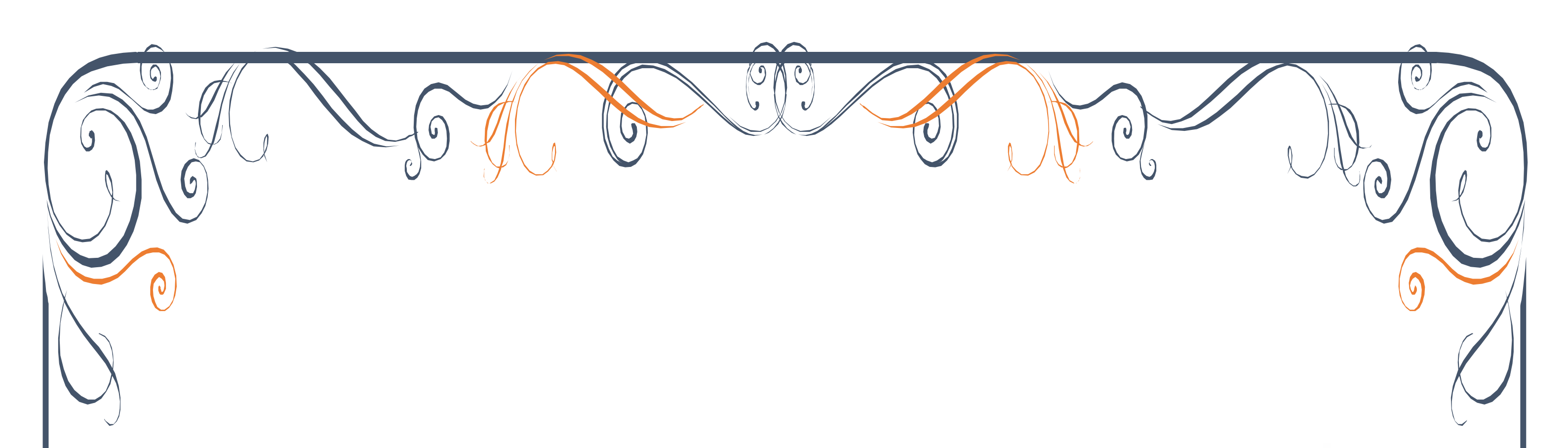
وبالإضافة فإنه وجد أن زيادة سرعة المحرك يزيد من معدل استهلاك الزيت ،كما أنه وجد أن هناك لزوجة معينة للزيت لكل محرك يكون عندها معدل الاستهلاك أقل ما يمكن ، وذلك لأن الزيت الأكثر لزوجة يترك غشاء سميك على سطح الاسطوانة ، كما أنه ينساب ببطء أثناء التصفية ، أما الزيت الأقل لزوجة فإنه يتجه بسهولة إلى غرفة الاحتراق .

٥ ــ ٧ ــ ٢ اختبارات الزيوت على ظهر السفينة Oil condition tests

يجب كل فترة إرسال عينة من الزيت إلى المعامل المتخصصة لعمل التحليل التفصيلي ، هذا مع استمرارية عمل الاختبارات على الزيوت على ظهر السفينة بالاستعانة بالمعدات المتوفرة وهى :

- اختبار نقطة الوميض ، وهى تحذر عن مدى تلوث الزيت بالوقود .
- اختبار القلوية ويستعان بورق المعايرة .
- اختبار اللزوجة ويمكن الاستعانة بمسطرة خاصة وتقارن فيها عينة من الزيت المستعمل مع آخر جديد .
- اختبار وجود المياه ويتحدد بعدة طرق ومنها تغير لون ورق خاص .
- اختبار درجة تأكسد الزيوت باستخدام ورق النشاف Spot-test on filter paper كالآتى :

يمكن تحديد درجة فساد الزيت المستعمل فى المحرك الديزل تقريبياً باستخدام طريقة ورق النشاف . وتؤخذ العينة من الدائرة نفسها أثناء تشغيل المحرك على طرف قضيب



مدبب ، وتوضع نقطة الزيت على ورقة نشاف وتترك إلى أن تجف بالهواء ، وتجرى مقارنة بينها وبين خمس عينات مختلفة بدرجات متفاوتة موجودة بالشكل (٥ ـ ٥) .

أ ـ زيت جديد لم يستعمل .

(جـ) (أ) (ب)

ب ، جـ ـ زيت قابل للاستعمال .

(د)

د ـ يجب تحليله معملياً لتحديد مدى صلاحيته .

(هـ)

هـ ـ غير صالح للاستعمال ويجب تغييره

شكل (٥ ـ ٥)

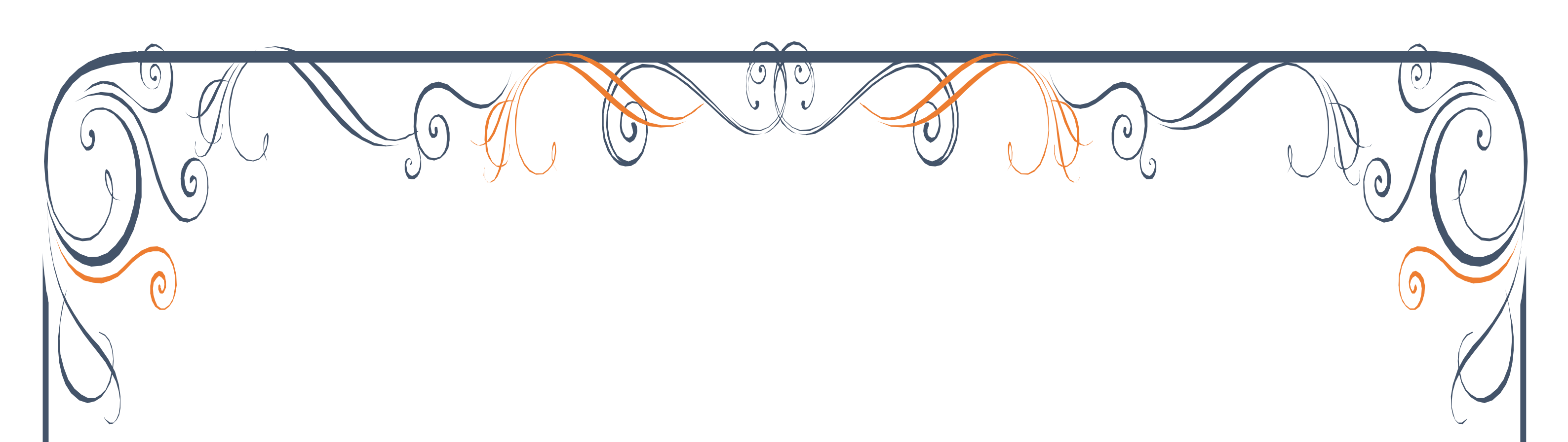
ويجب إجراء هذا الاختبار على فترات منتظمة والاحتفاظ بالعينات فى سجل خاص وذلك لتكون مرشداً عن حسن الأداء .

وتعطى جميع الاختبارات السابقة دلالة تقريبية عن حالة الزيت ، ولكنها لا تغنى عن التحاليل المعملية،وذلك بإرسال عينات إلى المعامل المتخصصة لتحديد اللزوجة ونسبة المياه والكربون ورقم التعادل .

ملحوظـــة :

أ- لا تعبر اللزوجة عن مدى تلوث زيوت التزييت بالوقود ـــــ فى حالة استخدام الوقود الثقيل حيث أنه قد تكون لزوجته مساوية أو أعلى من لزوجة الزيت .

وعليه لاختبار درجة التلـــوث بالوقود Dilution يســـتعمل اختبار نقطة الوميض Flash - point حيث أن زيوت التزييت لها درجة وميض فى حدود ٢٢٠° م ، وإذا حصـل



لها تلوث بالوقود بنسبة ٥% تصل درجة الوميض لها إلى ١٥٠° م .

ب- هذه الاختبارات تعطى فكرة ليس فقط عن مـدى صـلاحية الزيـت لاسـتمرارية الاستخدام ولكن تحدد مدى سلامة تشغيل المحرك أوالعيوب .

٨-٥ تغيير الزيوت

Oil Changes

يجب تغيير الزيوت إذا دلت نتائج التحليل المعملية على الآتى :

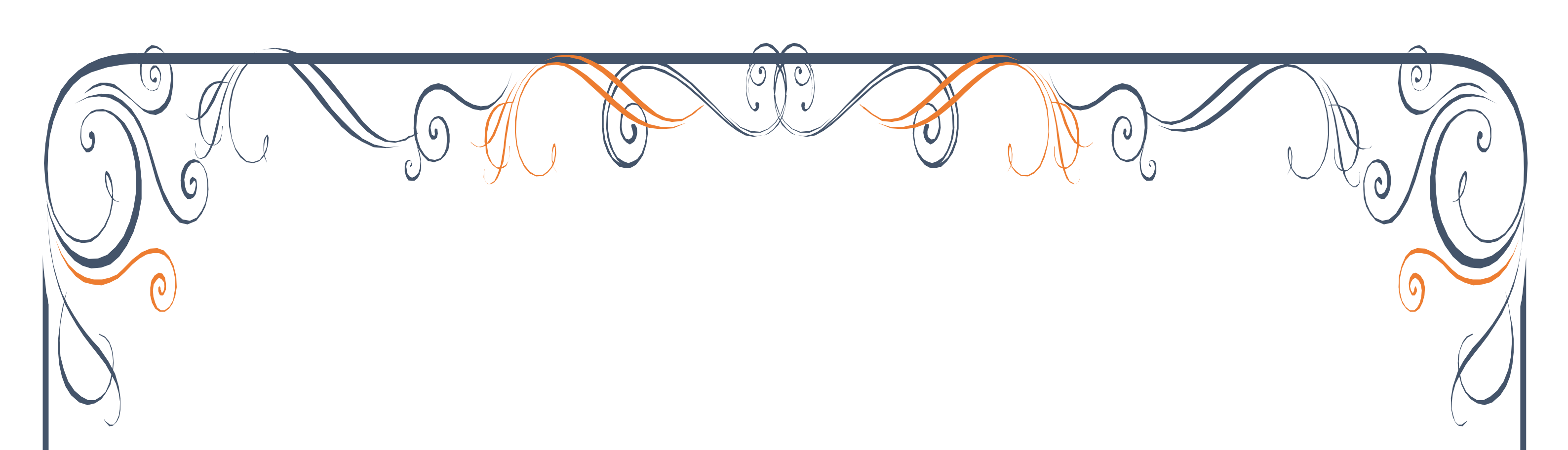
	Trunk-Piston Engines	Cross-Head Engine
Change of Viscosity	15%	5%
Water Content	Max. 1%	0.5%
Conradson carbon	Max. 2%	1%
Neutralization No.	Max.2 mg.KOH/g	1

وقبل وضع الزيت الجديد تراعى النظافة التامة للكارتير والصهريج ومواسـير سـحب المضخات والفلاتر وإزالة الرواسب الطينية Sludge ، ويتم نفض مواسير الزيت بالبخار أو الهواء ، ومراعاة عدم استخدام الأسطبة بتاتاً .

ويتم اختبار صمامات المنظومة وقواعدها وإجراء اللازم .

ملحوظة :

لا يمكن تحديد فترات صلاحية زيوت التزييت وذلك نظراً لاختلاف حالات التشغيل ولكن يمكن القول أنها تتراوح بين ١٠٠٠ و ١٥٠٠ ساعة تشغيل للمحركات السريعة ، وحوالى ١٠,٠٠٠ ساعة للمحركات البطيئة ، وربما تقل هذه المدد للنصف أو تزيد للضعف وذلـك تبعاً لنوع المحرك وطريقة التشغيل (تحميل جزئى أو تحميل زائد ، يعمل بالوقود الثقيل أو الخفيف) ويجب تغييره فوراً إذا دلت نتائج التحليل على التغيرات السابق ذكرها .



أســئلة

١. أذكر خواص زيوت التزييت وتكلم عن كل خاصية .

٢. عرف كلاً مما يأتى :

رقم التعادل ــ الرقم القاعدى الكلى .

٣. اشرح بالتفصيل مع الاستعانة بالرسم كيفية تزييت اسطوانة محــرك مولـد ، وآخـر محرك رئيسى كبير ، وتكلم عن أنواع الزيوت المستخدمة فى التزييت فى الحالتين .

٤. ما هى الاشتراطات الواجب توافرها فى كل من :

أ ــ زيت تزييت الاسطوانات .

ب ــ زيت تزييت المحامل .

٥. اشرح مع الاستعانة بالرسم منظومة زيت التزييت لماكينة رئيسـية كبيـرة ووضـح التركيبات الموجودة عليها وفائدتها .

٦. ما المقصود بإضافات زيوت التزييت ؟

تكلم عن ثلاثة أنواع هامة .

٧. اشرح فائدة الإضافات التالية :

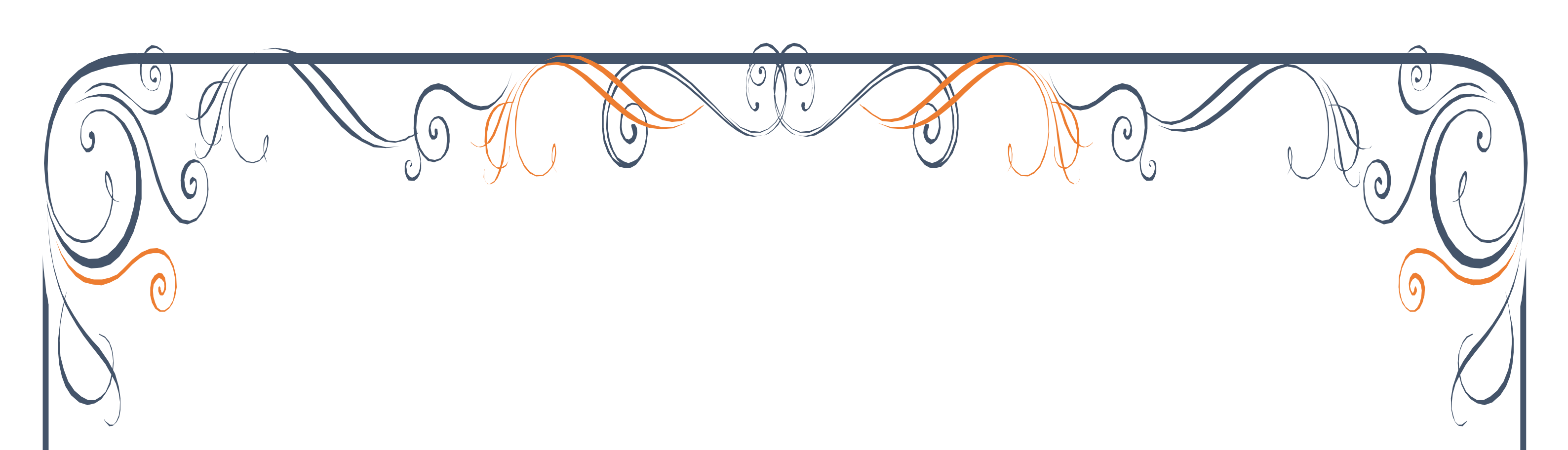
موانع التأكسد ــ المطهرات ــ المشتتات ــ موانع الرغوة .

٨. كيف يمكنك التأكد من صلاحية زيت التزييت .

أذكر بعض الاختبـــارات التى تجرى على ظهر الســـفينة وأخرى التى تجرى فى المعمل .

٩. ما هى أسباب تلف أو فساد زيت تزييت المحرك الديزل الرئيسى ، ومتى يجب تغييره ؟

١٠. ما معنى التزييت الحدى و التزييت الطبقى ، وكيف يمكنك منع حدوث التزييت الحدى بين أجزاء المحرك الديزل .



الباب السادس

تبريد محركات الديزل البحرية

Marine diesel engine cooling systems

تمتص الأسطح المكونة لغرفة الاحتراق وهى الجلبة والمكبس وغطاء الاسطوانة ما يقرب من ٢٥% من الطاقة الحرارية الناتجة عن احتراق الوقود . ولكى تبقى هذه الأجزاء محتفظة بقدرتها على تحمل الاجهادات الواقعة عليها ، يجب التخلص من هذه الحرارة أولاً بأول ، ويتم ذلك بواسطة منظومات التبريد .

ويمكن حصر منظومات التبريد لمحرك الديزل فى الآتى :

أ – تبريد الاسطوانات Jacket cooling

ويتم عادة بالمياه العذبة أو المقطرة ، وقد يستخدم الهواء أو المياه المالحة فى بعض الحالات .

ب – تبريد المكابس Piston cooling

ويتم إما بالزيت أو الماء .

جـ – تبريد صمامات حقن الوقود Fuel-valves

ولها منظومة مستقلة وتستخدم فيها المياه العذبة أو الوقود الديزل Distillated oils .

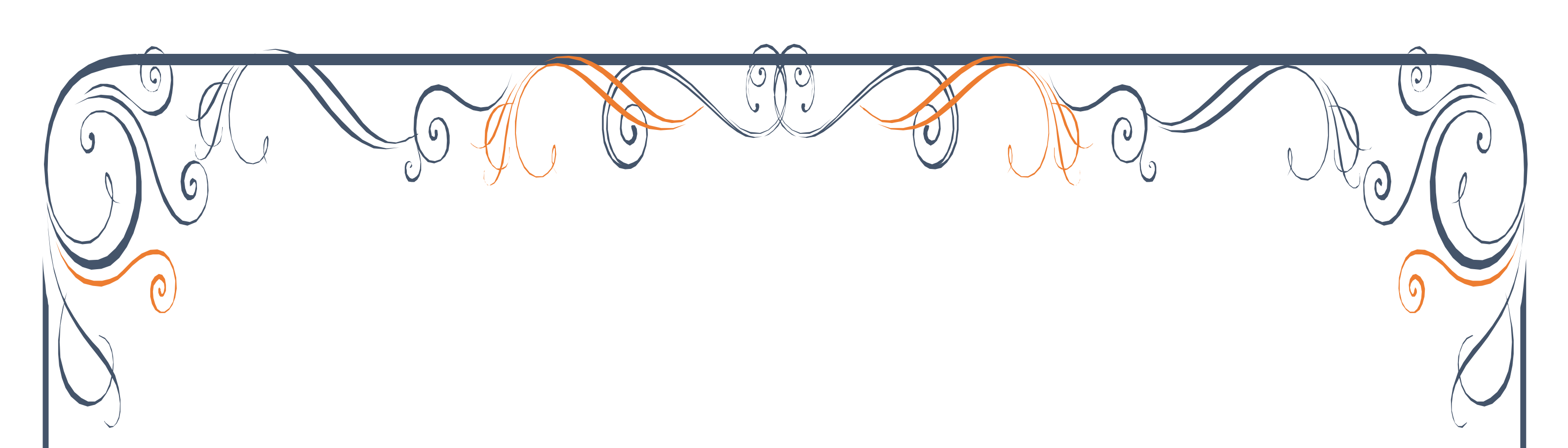
د – تبريد صمامات العادم

لضمان سلامة تشغيلها خاصة فى حالة استخدام الوقود الثقيل .

هـ – تبريد هواء الشحن Charge-air cooling

ويكون عادة بالمياه المالحة .

وبالنظر للدورة الحرارية نلاحظ أنه يوجد اختلاف كبير فى درجات الحرارة فى الاسطوانة أثناء تمدد الغازات ، فالأماكن التى تتعرض لدرجات الحرارة العالية تتطلب اهتماماً خاصاً وهى الأجزاء المكونة لغرفة الاحتراق : الجزء السفلى لرأس الأسطوانة – الجزء العلوى من القميص – تيجان المكابس – صمامات العادم ، وإذا لم تجد اهتماماً فائقاً فى مسألة التبريد فسوف تظهر المشاكل العديدة باستمرار .



٦ـ١ تبريد الاسطوانات

Jacket-cooling

يستخدم الماء لتبريد اسطوانات المحركات البحرية ، حيث يندفع فى الحيز بـين جسـم الاسطوانة والقميص على أن يغطى الحيز كل المشوار ، ثم يمر الماء إلى غطاء الاسطوانة وصمامات العادم ، ويوجه بعضه لتبريد تربينة الشاحن الجبرى .

ويوجد نظامين لدوائر التبريد بالماء :

٦ ـ ١ ـ ١ منظومة التبريد المفتوحة : Open cooling system

وفى هذه الحالة لا ترجع مياة التبريد إلى المحرك ثانية ، وتستخدم مضخة لسحب مياه التبريد من البحر ودفعها فى حوارى تبريد المحرك ، ثم تخرج المياة الساخنة إلى البحر ، وتتميز هذه الطريقة بالبساطة ، غير أن عيوبها كثيرة ، ويمكن تلخيصها فى الآتى :

١ ـ سرعة انسداد حوارى التبريد بالأملاح والشوائب .

٢ ـ يجب أن لا تزيد درجة حرارة المياة الخارجة عن ٤٨° م لتجنب زيادة معدل تكوين الرواسب الملحية .

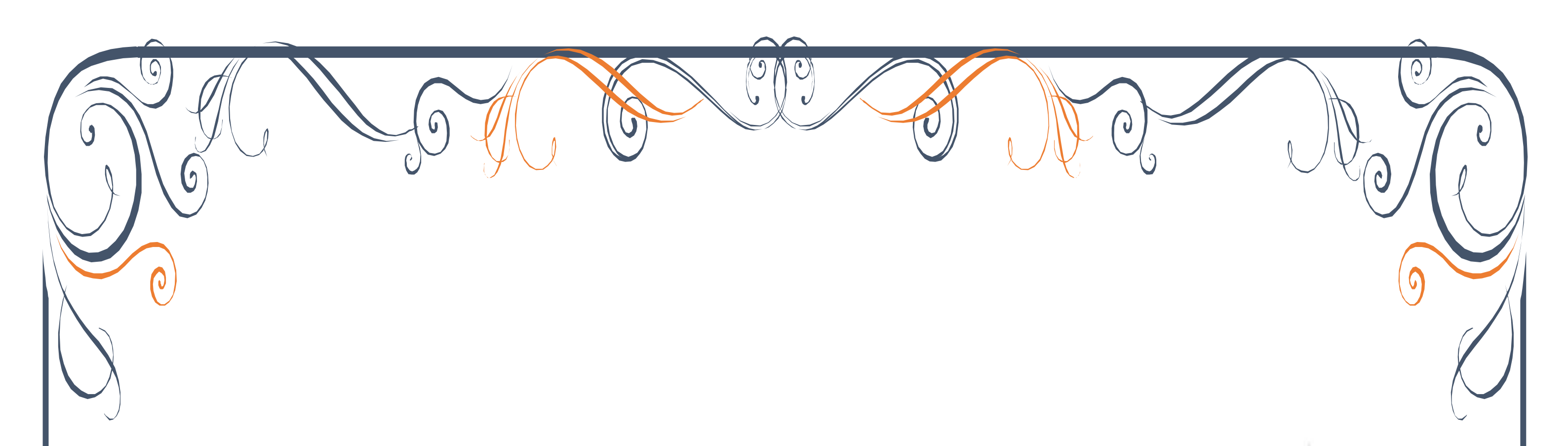
٣ ـ استخدام مياة البحر بدرجة حرارتها المنخفضة تسبب اجهادات حراريـة لأجـزاء المحرك وربما تحدث شروخ .

٦ ـ ١ ـ ٢ منظومة التبريد المقفلة Closed cooling system

تستخدم هذه الطريقة لتبريد محركات الديزل بالمياة العذبة والتى تبرد بمياة البحر حيث أنها تسمح بنظافة حوارى التبريد ، ويمكن التحكم فى درجة حرارتها بما يتناسب مع زيادة كفاءة التشغيل .

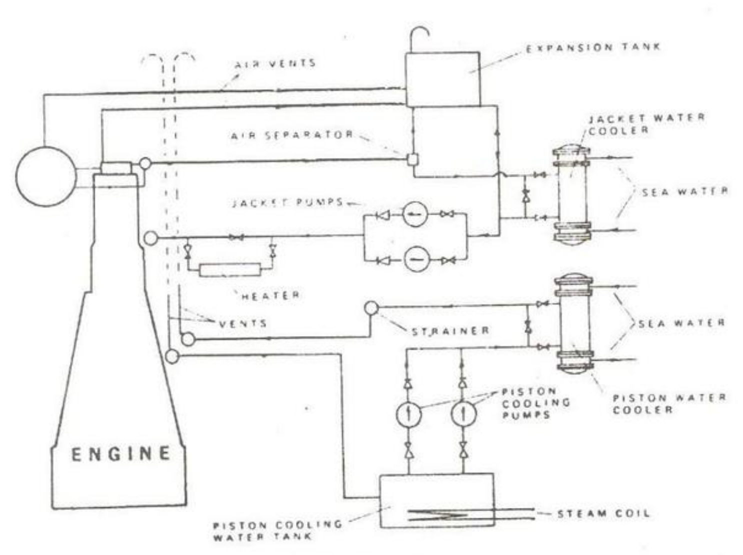
والشكل (٦ ـ ١) رسم تخطيطى لمنظومة التبريد بالمياه العذبة لاسطوانات ومكابس محرك ثنائى كبير ، وهى فى الحقيقة دائرتين منفصلتين :

الأولى : لتبريد الاسطوانات ورؤوسها والشاحن التوربينى . تخرج المياة من المحـرك إلى المبرد ومنه إلى المحرك ثانية عن طريق مضخة ، ويوجد بالمنظومة صهريج التعويض Header or expansion tank ، ويكون على ارتفاع معين وهو متصل بخط الخارج من المحرك وسحب امضخة فيعمل على غمرها ، ويعمل علـى تعـويض أى تسـريب مـن



المنظومة وتخليصها من أى هواء بالاستعانة بالفاصل Air-separator،كما يسمح بالتمدد عند ارتفاع درجة الحرارة . ويوجد فى بعض الأحيان مسخن Heater يمكن توصيله لتسخين مياة التبريد عند بداية التشغيل ثم فصله ، وقد يستعاض عن ذلك بالخارج من المولدات .

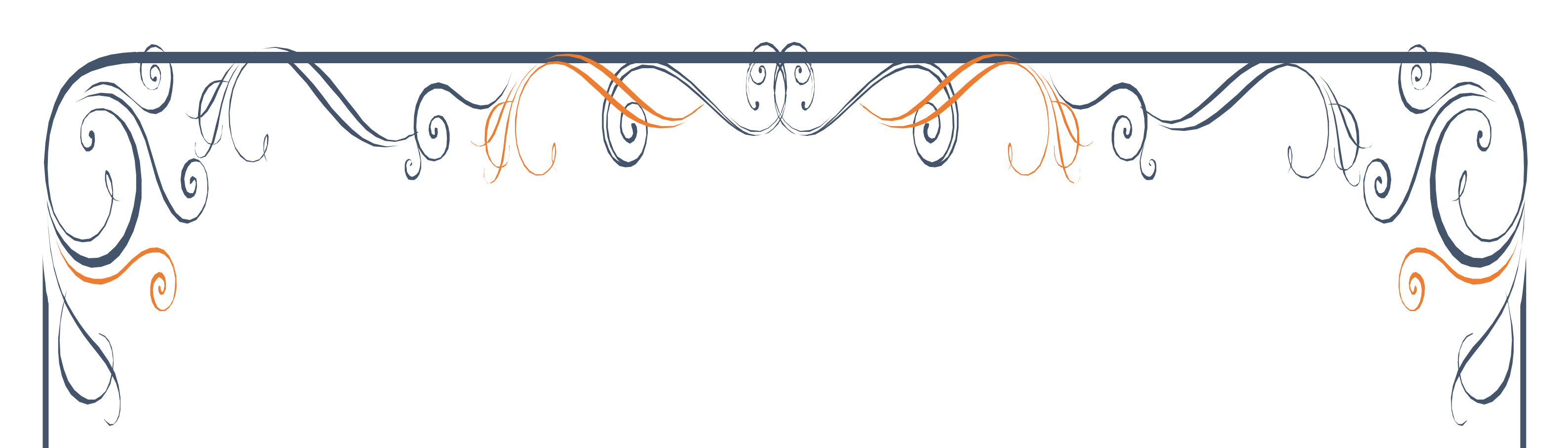
والثانية : لتبريد المكابس حيث تسحب المضخات الخاصة بها المياه من الصهريج إلى المبرد ، ومنه إلى وصلات تبريد المكابس بواسطة المواسير التلسكوبية ، ويعود ثانية إلى نفس الصهريج بعد مروره على مبينات السريان ودرجة الحرارة ، وتوجد منافث Vents فى النقطة العلوية بالقرب من الجلندات . ويزود الصهريج بملف تسخين بالبخار عند بداية تشغيل المحرك .



Fresh water cooling systems

شكل (٦ ــ ١) .





ويكون عادة تبريد المكابس بمنظومة خاصة منفصلة ، حيث أن درجة حرارة المياه الخارجة تكون عالية عن مياه تبريد الاسطوانات ، هذا مع ضرورة الابتعاد عن أى تلوث لمياة تبريد الاسطوانات فى حالة وجود تسريب زيت أو غازات إلى مياة تبريد المكابس .

ويتم تبريد جميع المبردات بمياة البحر وهى مزودة بصمامات تمرير By-pass valves لفصلها أو القفل عليها فى بداية التشغيل أو فى حالة حدوث أى عطب .

ويجب أن يكون ضغط المياه العذبة أعلى من ضغط المياه المالحة حتى لا يتسرب أى شئ منها إلى الأولى فى المبرد ، وتزود المنظومات عادة بصمام تحكم Thermostatic-valve يتحكم فى درجة حرارة المياه العذبة ويجعلها ثابتة ولا تعتمد على الحمل .

تزود جميع الدوائر الحديثة بأجهزة الإنذار الكافية Alarms ، لتحذر فى حالة نقصان الضغط أو زيادة أو نقص مستوى الصهريج ، أو عند ارتفاع درجة الحرارة . ويكون تشغيل الطلمبات مستقل فى حالة المحركات البطيئة ، أما فى حالة المحركات السريعة والمتوسطة السرعة فتكون الطلمبات ملحقة ، وبالإضافة يوجد طلمبة كهربية تعمل فى بداية التشغيل مع التسخين .

وكثيراً ما تشتمل هذه الدوائر على مقطر للماء Freshwater generator للتعويض .

أماكن فقد مياة التبريد وتعقبها :

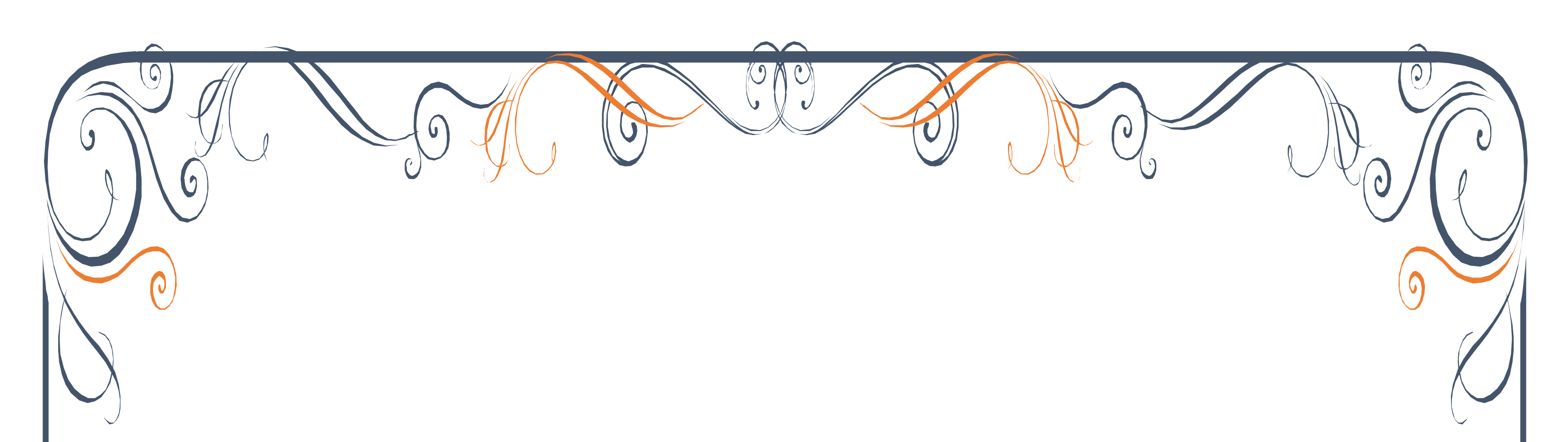
- جلندات المضخات ـ المبردات ـ حواكم القمصان .
- شرخ برأس الاسطوانة أو المكابس أو القمصان .
- جلندات المواسير التلسكوبية .
- تهريب الصمام بين خارج تبريد المولدات والمحرك الرئيسى .

ويمكن تعقبها من متابعة ضغط مياه التبريد ، ملاحظة تذبذب مؤشر جهاز الضغط ، وجود فقاقيع هواء بصهريج التعويض أو نقص المستوى .

٦ـ٢ مقارنة بين المياة العذبة والمقطرة للتبريد

Comparison of coolants

استخدام مياة الشرب العادية سيشكل خطر الترسيبات الجيرية ، وما يترتب عنه من سوء الانتقال الحرارى ، واستخدام المياة المقطرة ربما يؤدى إلى التآكل حيث لا توجد الطبقة الواقية للسطح لمنع التآكل . وللاختيار الأمثل يراعى الآتى :



استخدام المياه المقطرة من مياه الشرب ويضاف إليها موانع التآكل ، وعند عدم توافر ذلك ، يمكن استخدام مياه الشرب ولكن تكون بالاشتراطات التالية :

ـ لا يزيد العسر عن ١٠ درجات G.H.D.

ـ أملاح الكلوريد أو السلفيت لا تزيد عن ٥٠ جزء فى المليون .

ـ الرقم الهيدروجينى PH-value من ٧:٨ عند ٢٠°م .

وليكن معلوماً أن إزالة العسر لا تؤثر على أملاح الكلوريد أو السلفيت فى الماء ، بل هذا قد يزيد من التآكل بالرغم من استخدام الموانع .

٦ ـ ٢ وساخة سطح حيز التبريد

Engine cooling space contamination

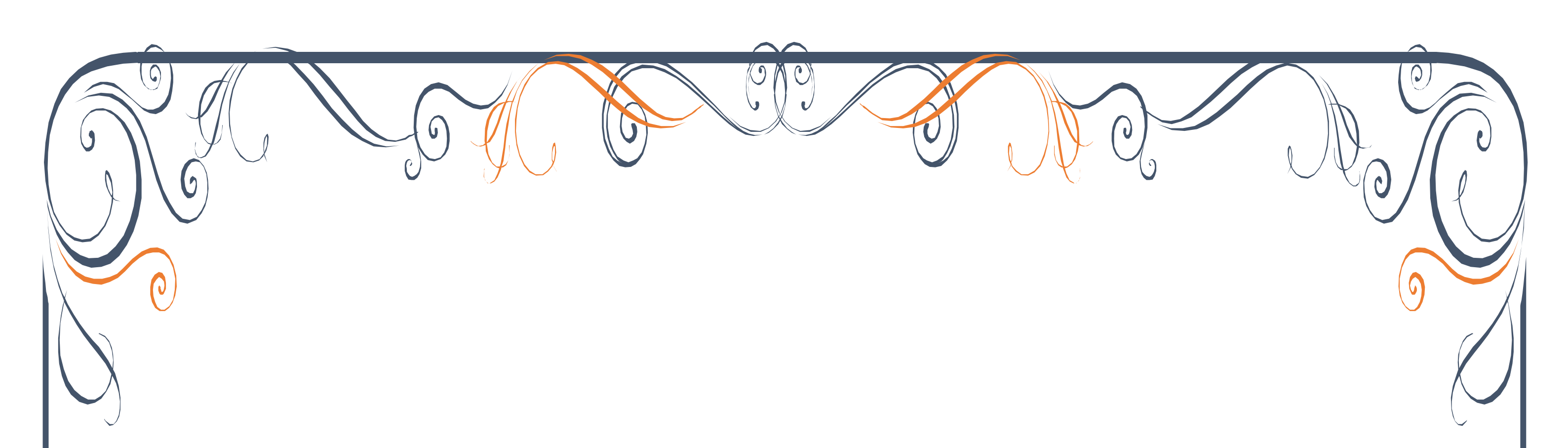
ويرجع إلى عدة أسباب وهى :

- تكون رواسب رملية أو طينية Sand or sludge deposits وخاصة فى الأماكن التى يقل فيها السريان ، ويمكن إزالتها فى معظم الأحيان بالغسيل الجيد بالماء .
- تكون رواسب زيتية Oil-sludge نتيجة تسرب بعض زيت التزييت إلى مياه التبريد أو نتيجة إضافة كميات كبيرة من الزيوت المانعة للصدأ إليها ، ويمكن إزالتها بالغسيل بمحلول الصودا المغلى .
- تكون القشور الصلبة (قشور الغلاية) وهى أصعب الحالات ، وتحدث إذا كانت المياه المستخدمة عسرة Hard وتحتوى على سلفات الكالسيوم .

وإذا وصلت تخانة هذه القشور إلى ١ مم فننصح بتنظيف الحوارى بمحلول كيميائى أو حامض الهيدروكلوريك المخفف Hydrochloric acid كالآتى :

يعد محلول يحتوى على ٥ : ٢٠% حامض هيدروكلوريك / ماء ، بدرجة حرارة حوالى ٤٠°م ويضاف إليه محلول جولبانول Golpanol B ، حيث تساعد هذه المادة على تحليل القشور بدون أن تؤثر على سطح المعدن .

يتم تفريغ الدائرة وملئها بهذا المحلول وسريانه بواسطة المضخة ، ويستعان بخرطوم لخروج الغازات ويمكن معرفة استمرار هذا التفاعل بظهور فقاقيع عند غمس هذا الخرطوم فى جردل به ماء .



وإن توقف خروج هذه الفقاقيع ، يعنى إتمام إزالة القشور أو ضعف المحلول ، وعليه يجب إجراء اختبار لتحديد مدى فاعلية المحلول وذلك بأخذ عينة منه ووضع قطعة من الطباشير عليه ، فإذا استمر التفاعل فهذا دلالة على استمرار قوته وإتمام نظافة الحوارى ، وإذا لم يظهر أى تفاعل فيدل ذلك على ضعف المحلول وضرورة وضع محلول جديد ، وقد يستعان بالتسخين بالبخار لإنجاز العملية فى وقت أقصر . وبعد التأكد من نظافة الحوارى تماماً ، يصير تصفية المحلول من المنظومة وغسلها بالمياه العذبة ، ثم تمرير محلول يحتوى على ١% كربونات الصودا لمعادلة أى آثار للحامض .

بعد ذلك يجب عمل اختبار ضغط للدائرة للاطمئنان على حالة الجوانات والتأكد من عدم وجود أى تسريب .

<u>ويراعى الآتى لسلامة الأداء :</u>

- تهوية غرفة الماكينات ، مع عدم السماح باللهب المكشوف حيث أن اتصال الحامض مع الحديد يكون مخلوط من الهيدروجين والهواء قابل للانفجار .
- يؤثر حامض الهيدروكلوريك على بعض المعادن مثل الزنك والنحاس والقصدير لذا يراعى عدم اتصاله بها .

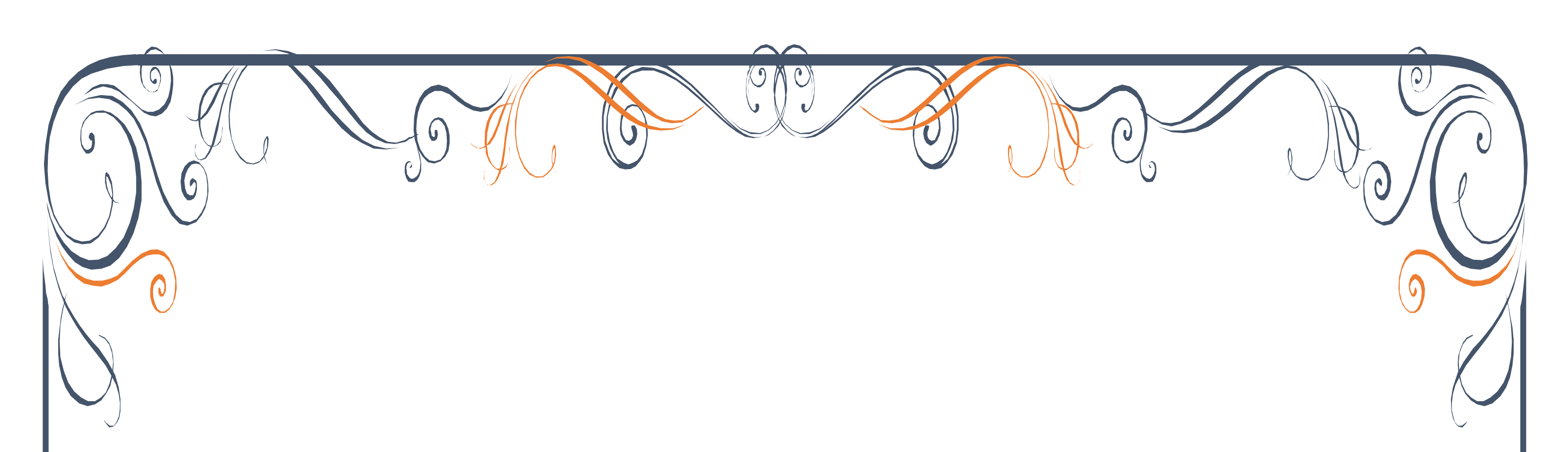
<u>ملحـــوظة :</u>

يفضل فى بعض الأحيان رفع رؤوس الاسطوانات عن المحرك وتنظيفها خارج غرفة الماكينات ، ويتم ذلك بملء الرأس بمحلول الحامض (جزء من الحامض المركز + ٣ أجزاء من الماء) ويجب الحذر تماماً من تطاير الحامض بقوة عند اتصاله بالرواسب ، ثم يجرى عليها الاختبار الهيدروليكى بضغط ١,٥ مرة ضغط التشغيل .

<u>ملء المنظومة :</u>

بعد عملية النظافة والغسيل ، توضع مياة التبريد الجديدة ويمكن إضافة الموانع Inhibitors ليس مباشرة مع الماء ، بل يتم تحضير محلول مركز ويوضع تدريجياً إلى أن نصل إلى النسبة الصحيحة وذلك لتلافى مشاكل زيادة أو نقصان النسبة المحددة .

ويجب إجراء اختبارات دورية على المياه لتحديد درجة تركيز الإضافات والقلوية .



٦ ـ ٤ معالجة المياة العذبة لاستعمالها فى المحركات الديزل

Treatment of cooling water for diesel engine

المعالجة الصحيحة لمياة التبريد هى أساس التشغيل الآمن ، والغرض منها هو :

- منع تكون الرواسب وما يترتب عليه من سوء الانتقال الحرارى .
- منع التآكل بالصدأ ، وما يترتب عليه من عدم صـــلاحية الجــزء لأداء العمـــل المطلوب .

وبهذا نضمن التشغيل السليم باستمرار مع تقليل مصاريف الصيانة إلى أقل حـــدودها ، ويتم ذلك بإضافة مواد كيميائية تسمى الموانع Inhibitors ، ومن الأنواع المألوفة الآتى :

١ ـ نتريت الصوديوم : Sodium nitrite

يوصى به لمزاياه التى يمكن حصرها فى :

- ذات تأثير فعال .
- نسبة قليلة منه ذات فاعلية كبيرة (٠,٥% بالوزن) .
- رخيص الثمن .
- ليس له تأثير ضار عند تداوله بالأيدى .
- متوفر فى أى مكان .
- مصرح باستخدامه فى المبخرات التى تستعمل مياهها فى الأغراض العامة .

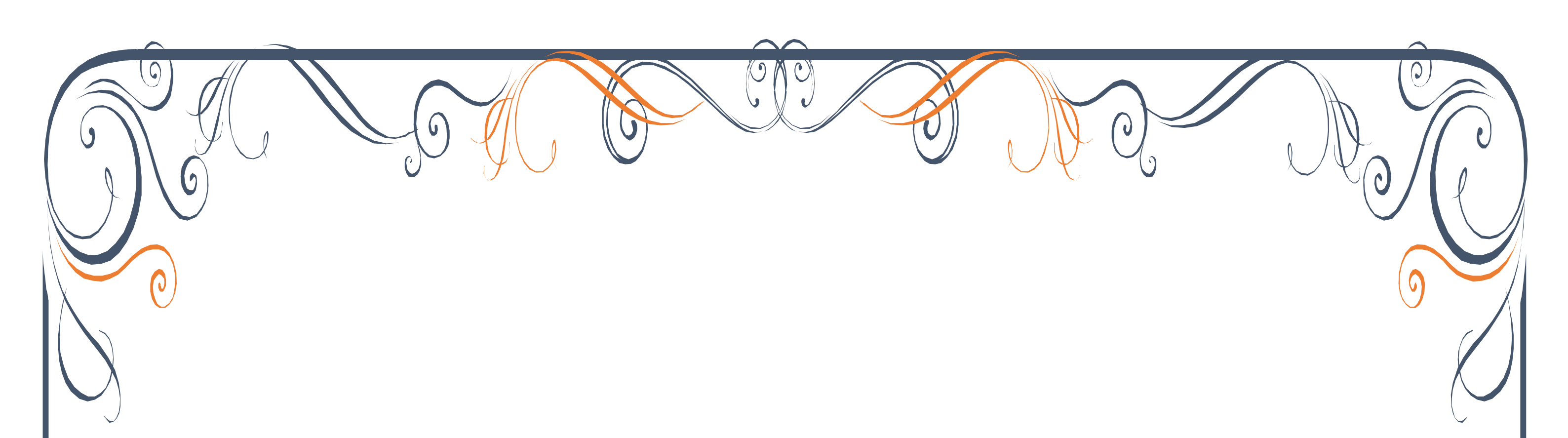
أما عيوبه فهى :

- لا يمكن استخدامه فى المواسير المجلفنه .
- سام (الجرعة المميتة ٣ : ٤ جرام صلبة) .

٢ ـ كرومات : Chromates

ومزاياها هى :

- سريع التأثير .
- النسبة الفعالة منه صغيرة ٠,٥% بالوزن .
- سعره معتدل .
- يمكن تحديد نسبة التركيز بمقارنة اللون .
- متوفر فى أى مكان .



وأما عيوبه فهى :

- يزيد من التآكل corrosionعند نقص درجة التركيز .
- تسبب التهابات جلدية .
- سام (الجرعة المميتة ١ جرام صلبة) .
- غير مصرح باستخدامه فى المبخرات التى تستعمل مياهها فى الأغراض العامة .

٣ ـ الزيوت المستحلبة : Emulsion-oils

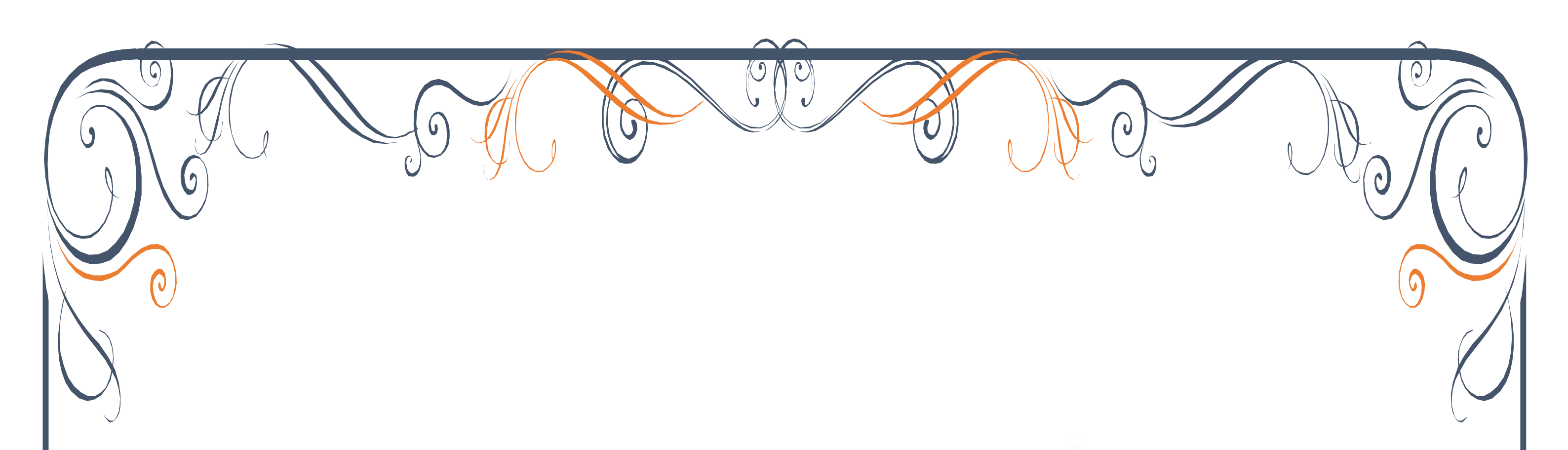
عند إضافتها للماء تكون مستحلب وينصح باستخدامها فقط فى حالة النظافة التامة لأسطح المواسير وضمان نسبة التركيز المعينة .

ومزاياها هى :

- تحمى الأسطح العارية بتغطيتها بطبقة رقيقة تمنع تعرضها للتآكل corrosion أو للتكهف cavitations .
- يعتبر واقى للأسطح النظيفة .
- غير سامة .
- ليس لها خطر على الأيدى .
- رخيص الثمن .
- النسبة الفعالة منها صغيرة ٠,٥% بالوزن .
- مصرح باستخدامها فى المبخرات التى تستعمل مياهها فى الأغراض العامة .
- متوفرة فى أى مكان .

أما عيوبها فهى :

- تفقد فاعليتها بسهولة عند وجود هباب أو صدأ أو زيت تزييت أو آثار حامض كبريتيك على الأسطح .
- تكون مع القشور الصلبة طبقة عازلة تمنع انتقال الحرارة ، وعليه يجب التأكد تماماً من نظافة الأسطح .
- قد يتسبب فى ارتفاع درجات الحرارة عند زيادة نسبة التركيز .
- قد يتعرض الزيت للتلف deterioration وعليه يجب تنظيف المنظومة وإعادة ملئها سنوياً .



أســـئلة

١. ارسم وأوصف منظومة تبريد القميص والمكبس بالماء لمحرك ديزل بحرى رئيسى .
أذكر أهمية صهريج التعويض وصمام الثرموستات .

٢. ما هى الأسباب التى تؤدى إلى وساخة سطح حيز التبريد ؟ وكيف يمكن إزالــة هــذه الرواسب ؟

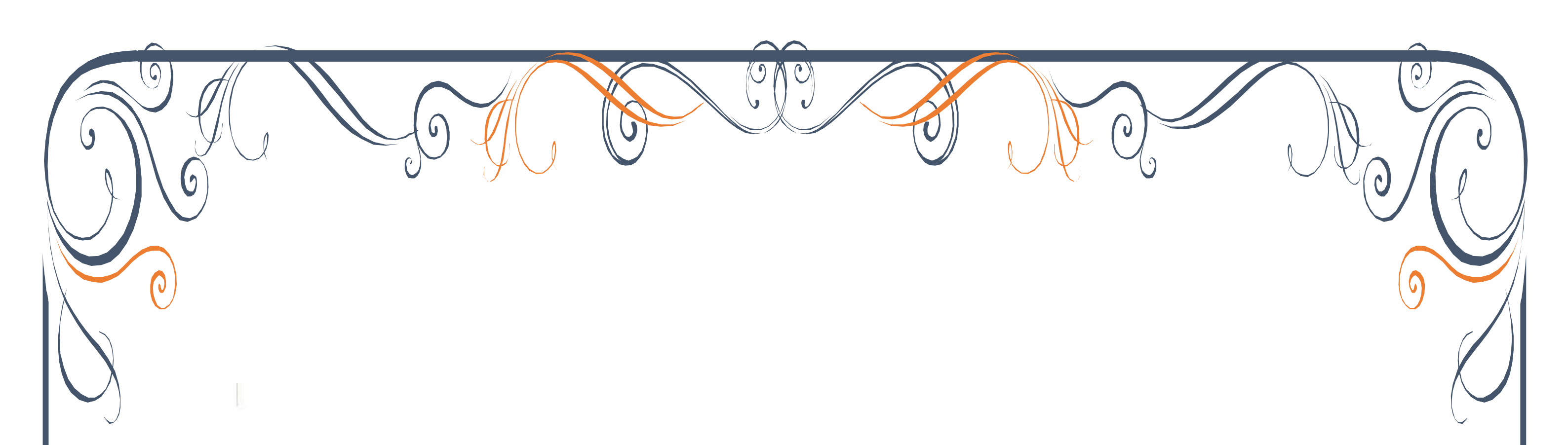
٣. ما هى الاشتراطات الواجب توافرها فى المياة العذبة التى تصلح لتبريــد اســطوانات المحرك الديزل ؟

٤. تعالج المياه العذبة ببعض الإضافات الكيميائية ، أذكر نوعين منها ، وأذكــر مزايــا وعيوب كل منها .

٥. أشرح ميزة التحكم فى درجات حرارة مياة تبريد أسطوانات المحرك الديزل ،
أرسم وأوصف منظومة تحكم آلية فى درجة الحرارة .

٦. أرسم تخطيطياً منظومة تبريد كاملة لمحرك ديزل كبير مبيناً أسماء الأجزاء الرئيسية واتجاه التدفق فى جميع الخطوط .
أشرح الأسباب التى تدعو إلى استخدام وحدات تقطير المياه فى مثل هذه المنظومة ، بين ما هى الأسباب المحتملة لتعوق تدفق مياة التبريد .

٧. وضح الأسباب التى تدعو إلى استخدام الإضافات فى مياة تبريــد المحــرك ، وبــين الظروف التى تحدد اختيار نوع معين من هذه الموانع ـــ علل الأسباب التى دعت إلى عدم استحسان الكرومات .



بدء وعكس الحركة للمحرك الديزل

Diesel engine starting and reversing

لإدارة المحرك الديزل ، يجب تدوير عمود المرفق بسرعة معينة ، وذلك لرفع درجة حرارة شحنة الهواء بعد الانضغاط إلى درجة كافية لإشعال الوقود واحتراقه فوراً عند حقنه ، وإن خفض هذه السرعة يساعد على فقد جزء من حرارة الانضغاط وهروب بعض هواء الانضغاط عبر حلقات المكبس أو الصمامات ، وتعتمد هذه السرعة على نوع المحرك وحجمه.وتنقسم طرق بدء الحركة إلى :

١ ـ بواسطة محرك كهربى : Electric starter

تدور المحركات الصغيرة بمحرك كهربى صغير، كما هو الحال فى السيارات أو بعض المولدات الديزل الصغيرة ، وتستعمل لذلك بطارية .

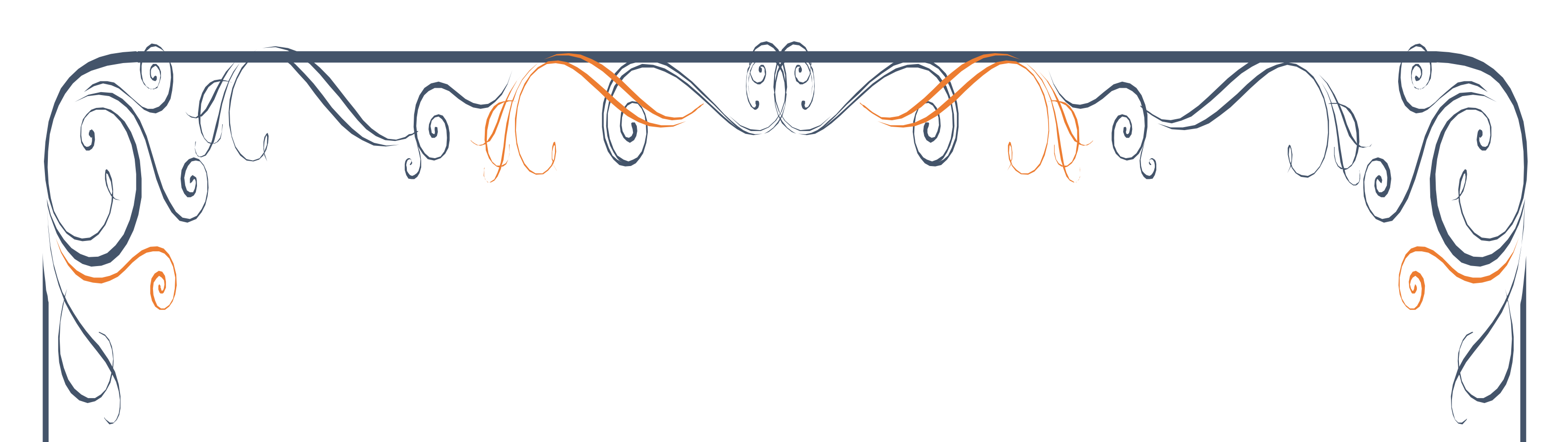
٢ ـ بواسطة محرك بنزين : Petrol engine starter

وفى هذه الحالة يكون هناك محرك بنزين صغير مثبت على عموده ترس يمكن تعشيقه فى أسنان بحدافة المحرك الديزل . يبدأ محرك البنزين الحركة ، ثم تعشق تروس بدء الإدارة مع بعضها ، ويدور المحرك الديزل حتى يحرق الوقود ويكتسب سرعته وعندئذ ينفصل الترس تلقائياً .

٣ ـ بواسطة الهواء المضغوط : Compressed-air starting

تستعمل هذه الطريقة عادة فى المحركات المتوسطة والكبيرة حيث يخزن الهواء المضغوط فى اسطوانات ويسمح بدخول هذا الهواء إلى اسطوانات المحرك عن طريق صمامات بدء الحركة الموجودة على رؤوسها بعد حركة المكبس من النقطة الميتة العليا بقليل ، فيدفع ضغط الهواء المكبس إلى أسفل ويبدأ المحرك فى الدوران حتى يكتسب سرعة كافية لإشعال الوقود عند حقنه ، وحينئذ يقطع عنه هواء بدء الحركة .

ويتم فتح الصمامات فى لحظة محددة عن طريق استخدام حدبات خاصة توجد على عمود الحدبات، ويكون ضغط هواء بدء الحركة ٣٠ بار. وتكفى كمية الهواء المضغوط



المخزونة لبدء حركة المحرك الرئيسى ١٢ مرة على الأقل فى المحركات التى تدور فى الاتجاهين ، ٦ مرات فى حالة المحركات التى تدور فى اتجاه واحد .

٧ - ١ التداخل بين توقيت صمامات هواء بدء الحركة

Starting-air overlap

يبدأ دخول هواء بدء الحركة فى كل اسطوانة بالتتابع عندما يكون المرفق فى ن.م.ع. ويستمر لفترة معينة أثناء الشوط الفعال .

ولضمان تقويم المحرك فوراً (بدون النظر لوضع المرفق) يجب أن يكون هناك تداخل overlap بين توقيت صمامين لبدء الحركة أو بمعنى آخر يستمر دخول الهواء المضغوط فى اسطوانة ما فى حين يبدأ دخوله فى الاسطوانة التالية لها طبقاً لترتيب الاحتراق ، وأقل قيمة لهذا التداخل هو ١٥° .

وتعتمد الفترة التى يستمر فيها فتح صمام بدء الحركة على :

أ ــ زاوية المرفق وهى تساوى $\frac{\text{عدد زوايا الدورة}}{\text{عدد الاسطوانات}}$

فإذا كان المحرك ثنائى الأشواط وعدد الاسطوانات ٤ مثلاً فتكون هذه الزاوية مساوية $\frac{٣٦٠}{٤} = ٩٠°$.

ب ــ بداية فتحه ، ويجب أن تكون بداية فتح صمام هواء بدء الحركة بعد ن.م.ع. لتعطى عزم دوران موجب فى الاتجاه الصحيح .

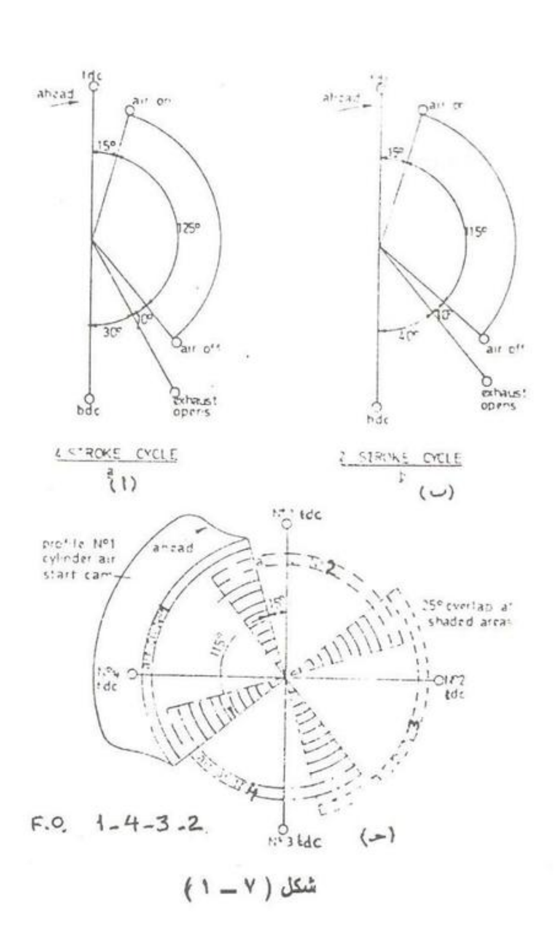
جـ ــ بداية فتح صمام العادم ، أى يجب غلق صمام بدء الحركة قبل فتح العادم وإلا تسرب الهواء مع العادم وأدى إلى مخاطر .

وبالنظر إلى الشكل (٧ ــ ١ أ) لمحرك رباعى الأشواط ، يفتح صمام بدء الحركة ١٥° بعد ن.م.ع. ويقفل ١٠° قبل فتح صمام العادم وفترة استمرار فتحه ١٢٥° .

زاوية المرفق لمحرك رباعى الأشواط مكون من ستة أسطوانات تساوى $\frac{٧٢٠°}{٦} = ١٢٠°$

وعليه فإن فترة التداخل هى ١٢٥° ــ ١٢٠° = ٥° وتعتبر غير كافية .



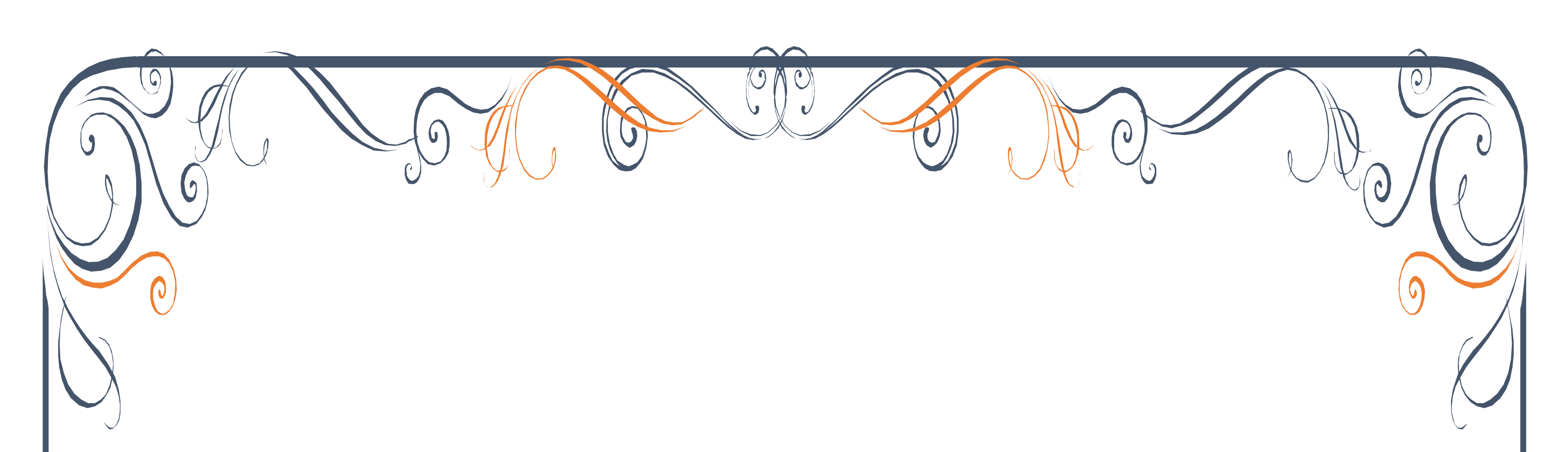


شكل (٧ ـ ١)

بالنظر للشكل (٧ ـ ١ ب) لمحرك ثنائى الأشواط .

يفتح صمام بدء الحركة ١٥° بعد ن.م.ع. ويقفل ١٠° قبل فتح بوابة العادم وفترة استمرار فتحه ١١٥° .

زاوية المرفق لمحرك ثنائى الأشواط مكون من ثلاث اسطوانات تساوى $\frac{٣٦٠°}{٣}$ = ١٢٠°



وعليه لا توجد فترة تداخل (١٢٠° > ١١٥°) وتظهر صعوبة التقويم .

بالنظر للشكل (٧ ـ ١ جـ) لمحرك ثنائى الأشواط ومكون من أربعة أسطوانات :

يفتح صمام بدء الحركة ١٥° بعد ن.م.ع. وفترة استمرار فتحه ١١٥° .

زاوية المرفق لمحرك ثنائى الأشواط مكون من أربعة أسطوانات تساوى $\frac{٣٦٠°}{٤}$ = ٩٠° .

وعليه فإن فترة التداخل (١١٥° ـ ٩٠°) = ٢٥° وتعتبر مناسبة .

وترتيب الحريق فى هذا المثال ١ ـ ٤ ـ ٣ ـ ٢ .

ويراعى اتجاه الدوران ، ومبين على الرسم فقط الحدبة على الاسطوانة رقم (١) وفترات التداخل المهشرة .

٧ - ٢ منظومة بدء الحركة بالهواء

Air-starting system

يوضح الشكل (٧ ـ ٢) رسم تخطيطى لمنظومة بدء الحركة بالهواء ـ يتم تشغيلها يدوياً ـ لمحرك ديزل بحرى رئيسى ، وهى تشتمل على الصمامات التالية :

أ ـ صمام القطع الرئيسى: Main stop valve

يفتح باليد ببطء ويسمح بمرور الهواء ذات الضغط العالى (٣٠ بار) من اسطوانة الهواء إلى كل من صمام المرشد والصمام الآلى .

ب ـ صمام المرشد : Control or pilot-valve

ويعمل برافعة عند تغيير وضعها من ' إيقاف ' إلى ' تقويم ' ويسمح بتصريف الهواء من فوق كباس الصمام الآلى إلى الجو فى حالة فتحه ، وكذلك يوفر الضغط فوق الكباس فى حالة غلقه .

جـ ـ الصمام الآلى : Automatic-valve

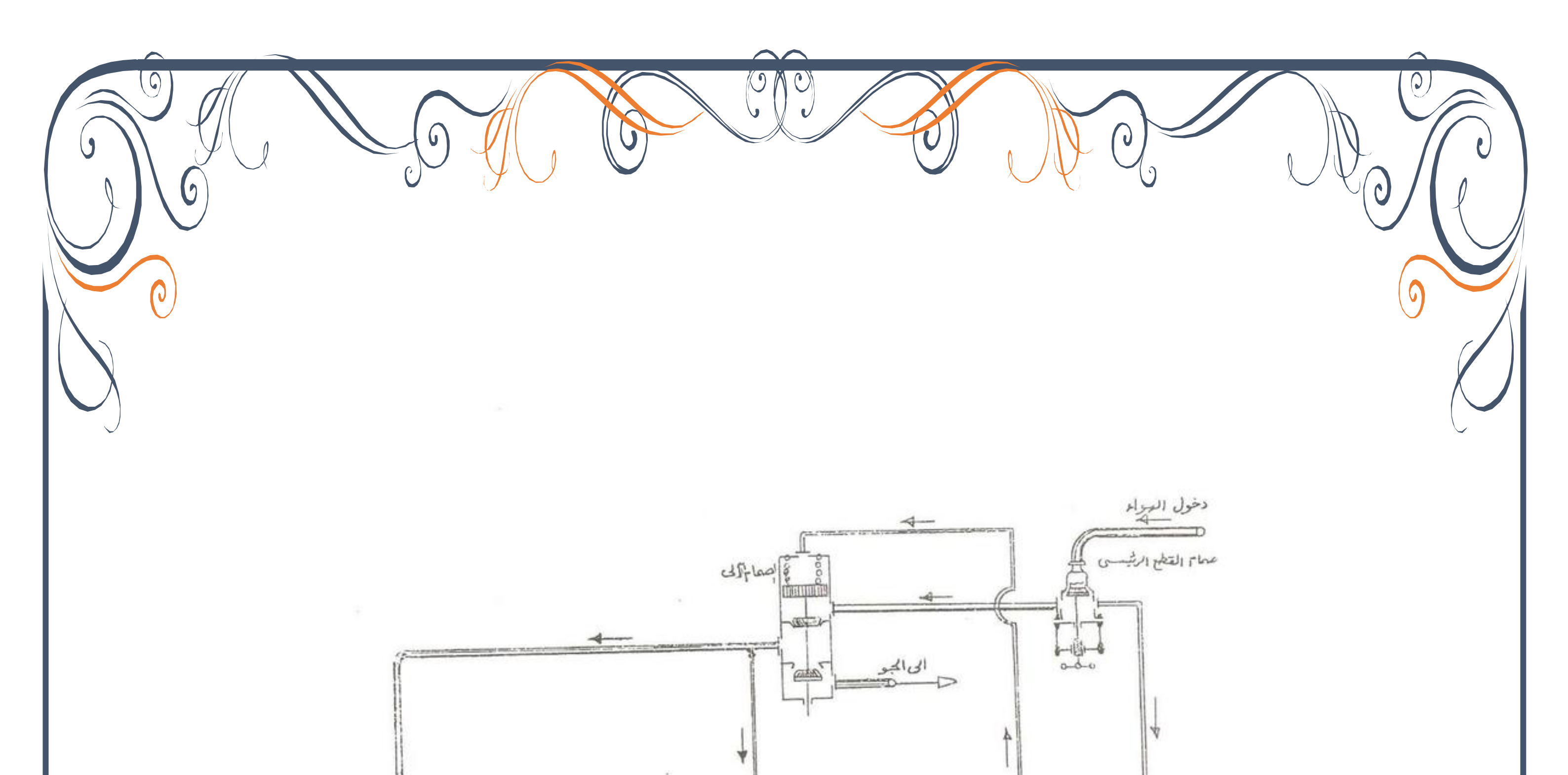
محمل بضغط الياى الموجود فوق الكباس ، ويسمح بمرور الهواء إلى كل من الموزع وصمامات بدء الحركة المثبتة على رؤوس الاسطوانات .

د ـ الموزع أو صمامات التوزيع : Distributor or Distribution valves

تتحكم فى توقيت فتح صمام بدء الحركة الموجودة على الاسطوانات . أنظر شكل (٧ ـ ٥) ، (٧ ـ ٦) .

هـ : صمامات بدء الحركة على الاسطوانات : Cylinder air start valves

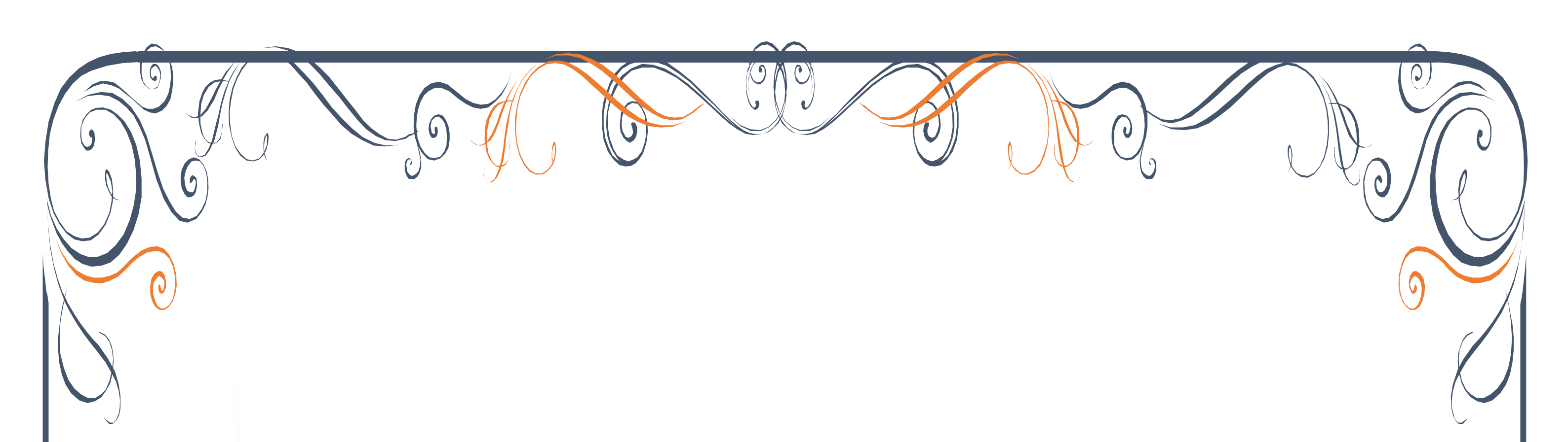
ويوجد على كل اسطوانة صمام ويمكن الرجوع إليه فى (٧ ـ ٤)



دخول الهواء
صمام القطع الرئيسي
إصمام آلى
الى الجو
الى الجو (١)
صمام الموزع
صمام هواء البدء
صمام الارشاد
تنفيث الهواء الى الجو
ذراع البدء

شكل (٧ ــ ٢) منظومة التقويم بالهواء





<u>طريقة بدء الحركة</u>

عندما تكون الرافعة (نراع البدء) فى وضع الإيقاف يكون صمام المرشد مقفلاً عـن الجو ويسمح بمرور الهواء المضغوط أعلى كباس الصمام الآلى ويجعله مقفلاً .

وعندما تكون الرافعة فى وضع تقويم " start " يفتح صمام المرشد ، فيتسرب ضـغط الهواء من أعلى كباس الصمام الآلى إلى الجو ، وهذا الوضع يسمح بمرور الهـواء مـن صمام القطع الرئيسى إلى ماسورة التوزيع ثم إلى صمامات بدء الحركة والموزع .

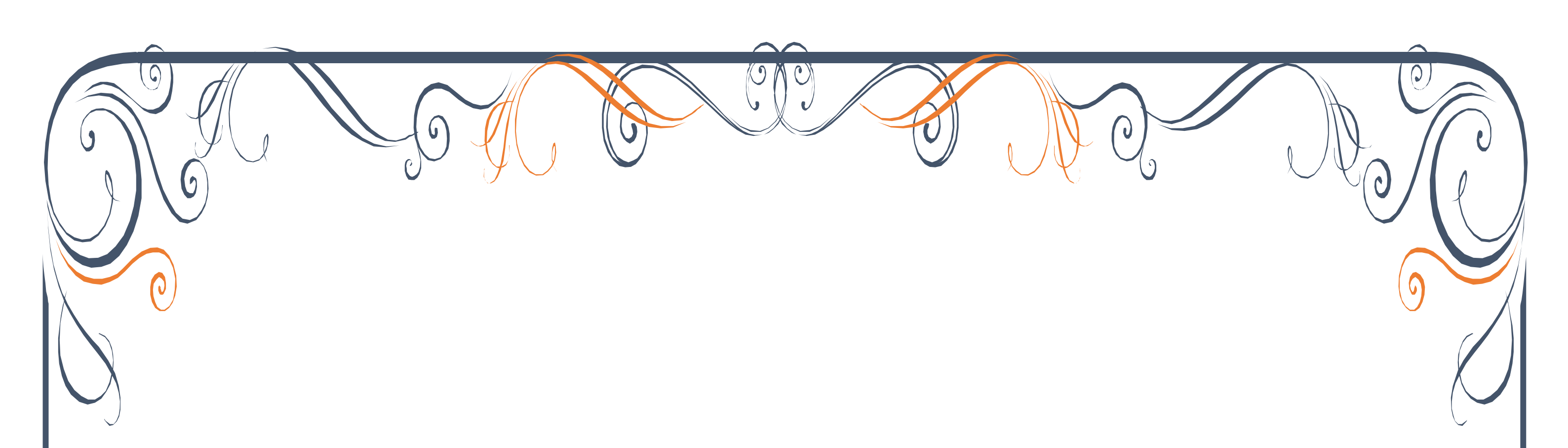
يبقى الهواء المضغوط محصوراً بصمام بدء الحركة وفى انتظار الإشارة من الموزع ، وهنا يبدأ عمل الموزع المتوافق Synchronized مع وضع المحرك لتمرير الهواء لفـتح صمامات بدء الحركة لكل أسطوانة بتوقيت ونظام معين ، ويتم هـذا التوقيـت بالحدبـة . ويكون ذلك عند النقطة حوالى ١٥° من زوايا عمود المرفق بعد مغادرة المكـبس ن.م.ع. ويستمر الى حوالى ١٢٥° .

ويفتح صمام بدء الحركة على الاسطوانة عندما يؤثر الهواء القادم من المـوزع علـى مكبسه ويتغلب على ضغط الياي ، ويسمح بمرور الهواء المضغوط إلى الاسطوانة ضاغطاً على المكبس ومسبباً دوران المحرك فى الاتجاه المطلوب ، وعندما تدور الحدبة يتصل أعلى مكبس الصمام بالجو ويقفل الصمام ، وقبل غلقه يفتح الصمام الذى يليه.

بعد دوران المحرك بالهواء تستمر حركة الرافعة إلى وضع وقود "fuel " حيث يقفـل الصمام المرشد عن الجو ويدخل الهواء أعلى الصمام الآلى حيث يدفع الصمام لأسفل فيقفل الوجه العلوى ويفتح الوجه السفلى ويتسرب الهواء المتبقى بالمنظومة إلى الجو .

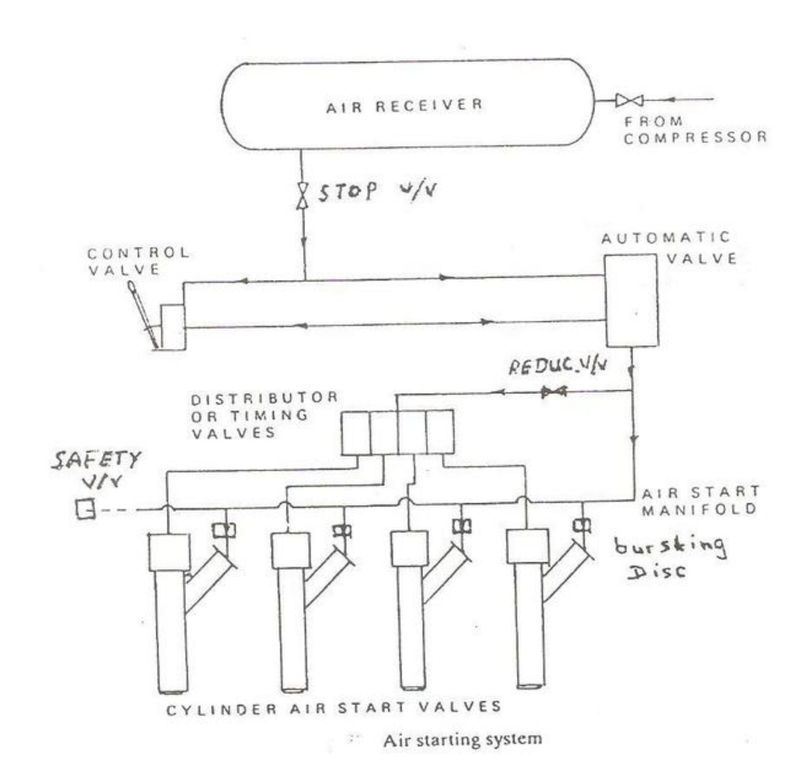
تزود المنظومة بوسائل تـأمين Blocking devices and interlocks لمنـع تشـغيل الصمام فى حالة تعشيق تروس التقليب Turning-gear أو وضع خاطئ لمحددات الاتجـاه أو حواكم الوقود أو إخفاق فى الدوائر الأساسية مثل انخفاض ضغط مياة التبريد أو زيـت التزييت ... الخ .

ويجب أن تزود المنظومة بمصافى Drains لتصفية أى مياة أو زيت ، هذا علاوة على أجهزة الأمان لمنع الانفجارات مثل صمامات التصريف Relief - valves ومصـايد اللهـب flame-traps وأقراص الانفجار Bursting discs والصمام الغير رجاع .



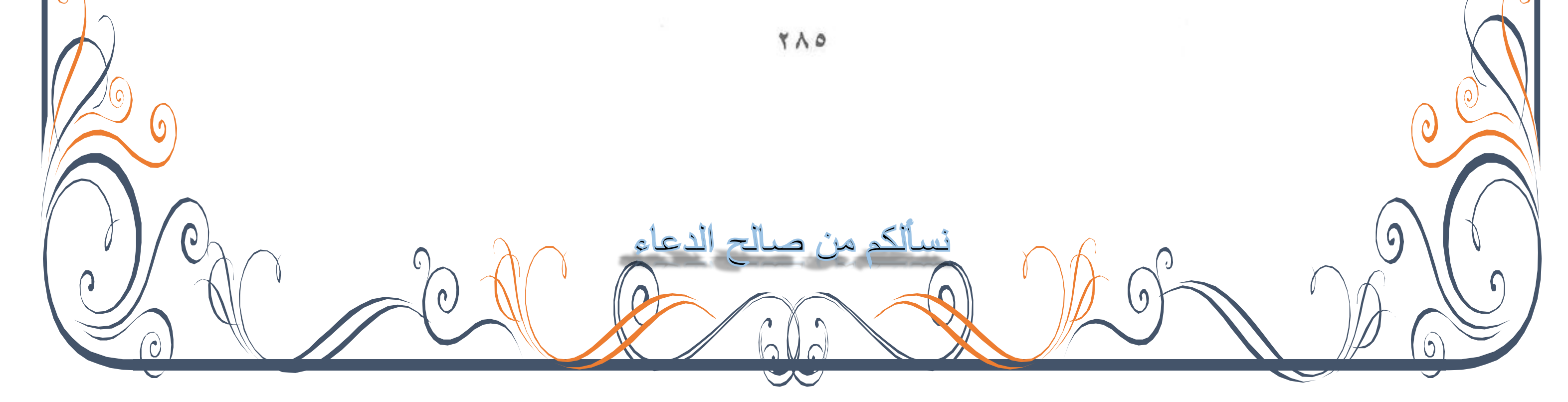
<u>ملحوظة :</u> عند بدء التشغيل يجب اختبار إحكام غلق صمامات بدء الحركة ، للتأكد مـن إحكامها ، وذلك بطريقة جس الماسورة المجاورة (استشعار درجة الحرارة) ، وإذا تلاحظ ارتفاع درجة حرارة إحداها ، دل ذلك على عدم إحكام غلق الصمام ــ وعليه يلزم تغييـره فوراً .

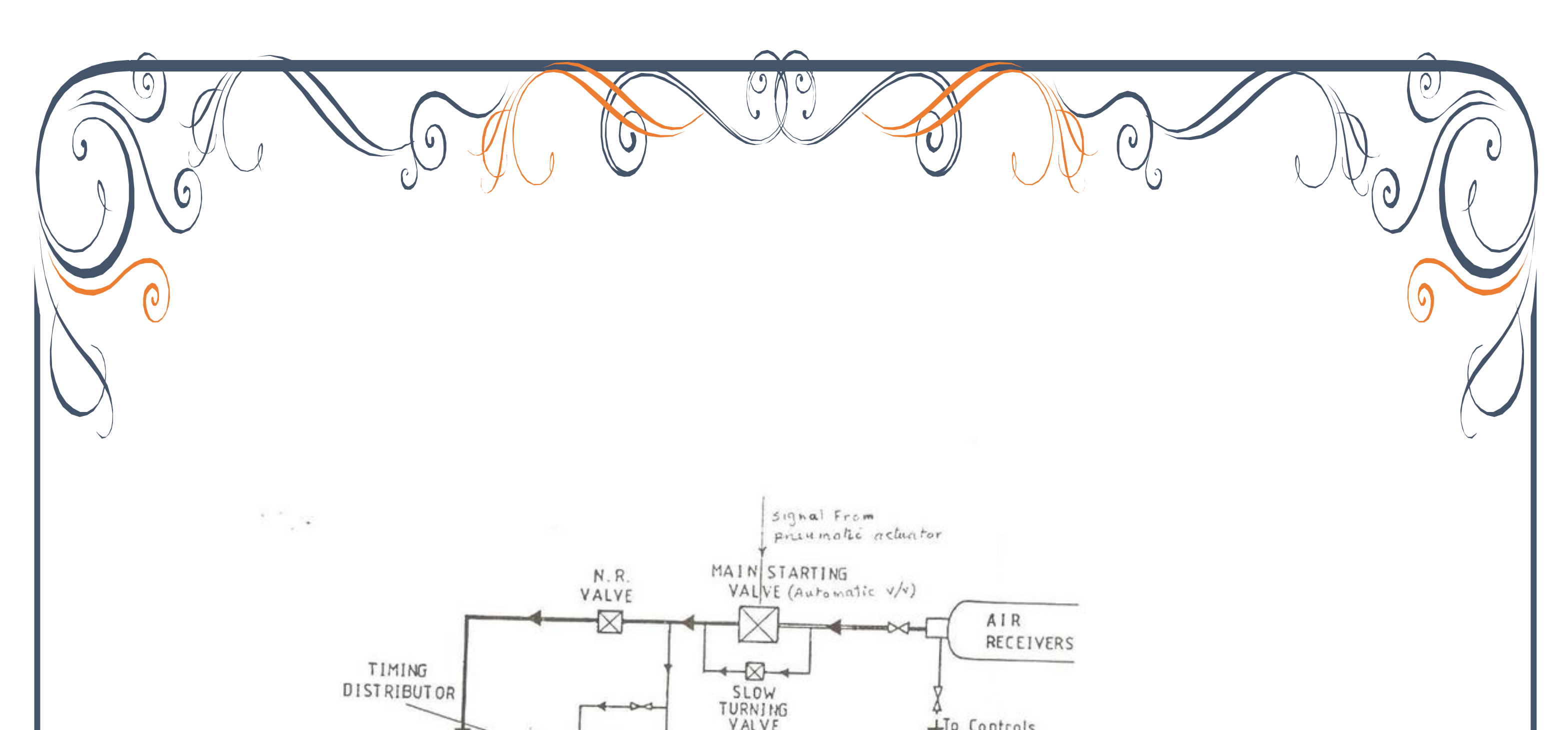
شكل (٧ ــ ١٣ أ) رسم صندوقى مبسط لمنظومة بدء الحركة لمحرك ديزل رئيسى كبير ويتم التشغيل عن طريق صمام المرشد الذى يعمل على فتح الصمام الآلى . وفى المحركات الحديثة يتم فتح الصمام الآلى بواسطة مشغل هوائى Pneumatic-actuator كما يتضـح فى الشكل (٧ – ٣ ب) .

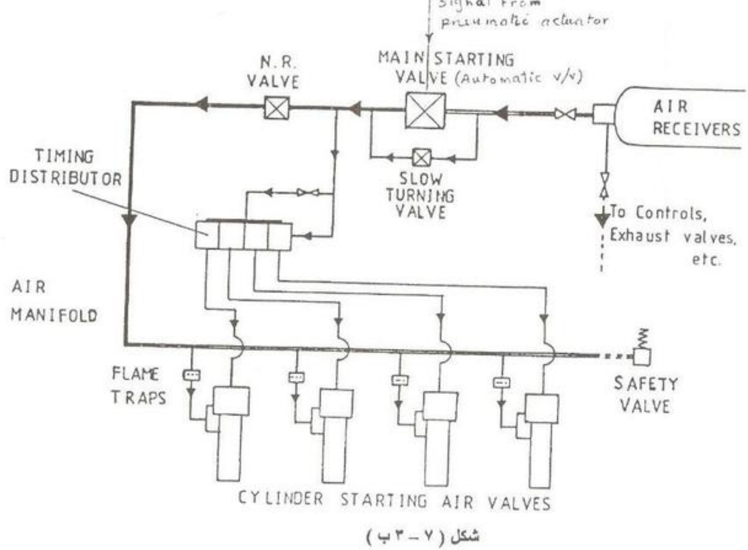


Air starting system

شكل (٧ ــ ١٣ أ)

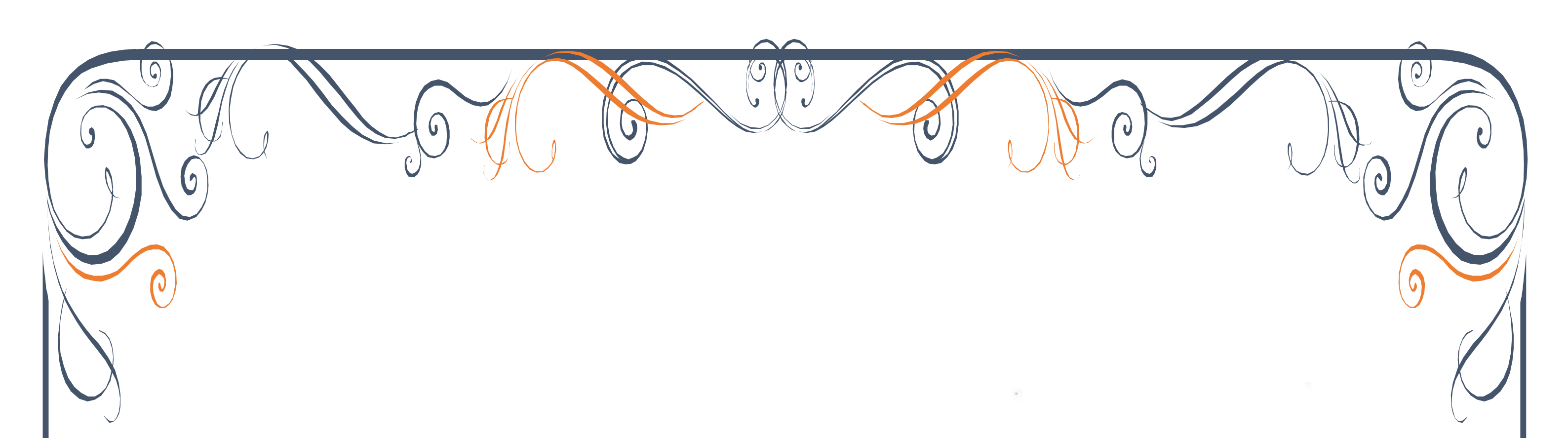





Signal From
pneumatic actuator
MAIN STARTING
VALVE (Automatic v/v)
N.R.
VALVE
AIR
RECEIVERS
TIMING
DISTRIBUTOR
SLOW
TURNING
VALVE
To Controls,
Exhaust valves,
etc.
AIR
MANIFOLD
FLAME
TRAPS
SAFETY
VALVE
CYLINDER STARTING AIR VALVES

شكل (٧ـ٣ ب)


نسألكم من صالح الدعاء

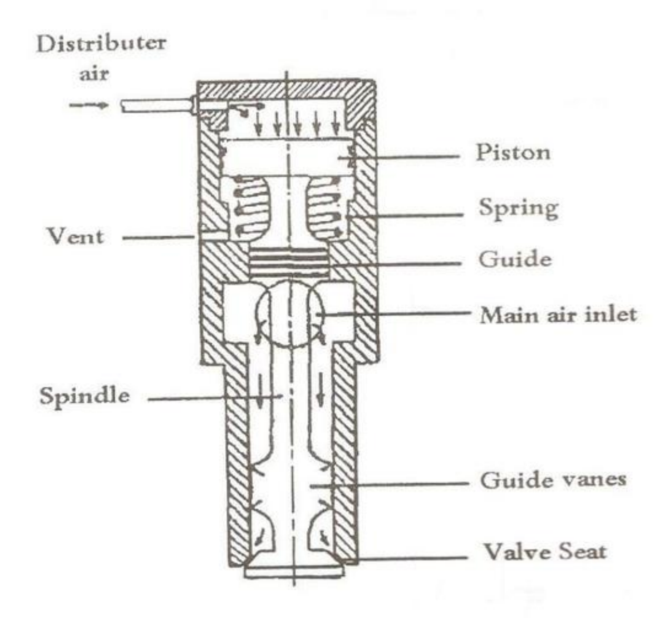


٢-٧ صمامات بدء الحركة

Starting-air valves

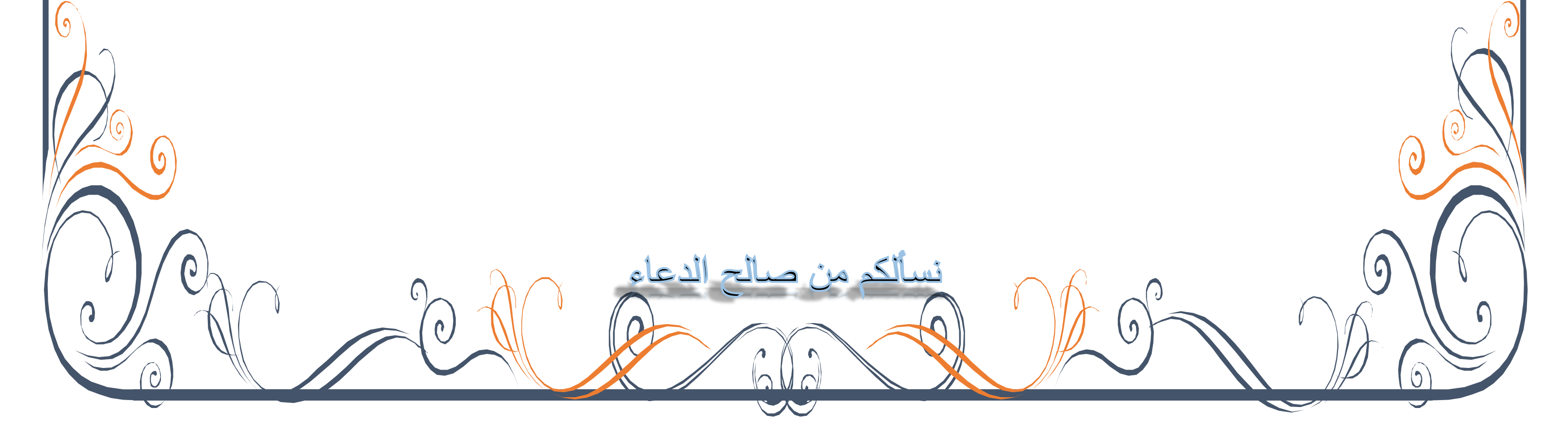
يوضع هذا الصمام على رأس الاسطوانة ، ويتم فتحه بضغط الهواء الواصل إليه عــن طريق الموزع distributer ، ويقفل عند اتصال الموزع بالهواء الجوى ، ويوجد أكثر من تصميم لهذه الصمامات .

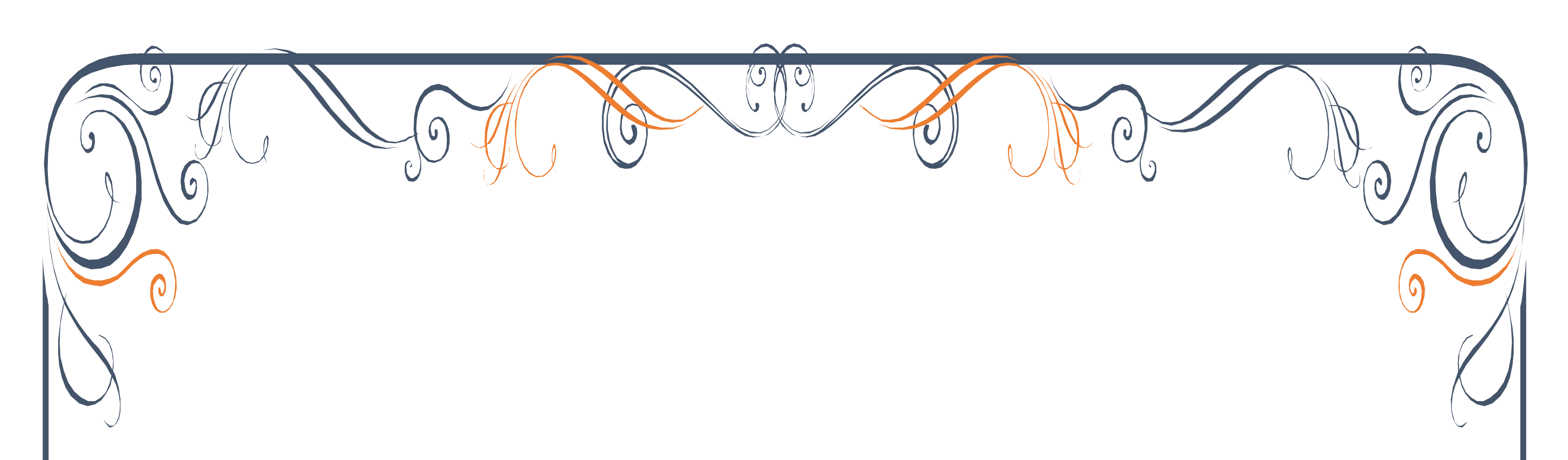
والشكل (٧ ــ ٤ أ) يوضح أحد هذه التصميمات والذى يعمل مع الموزع .



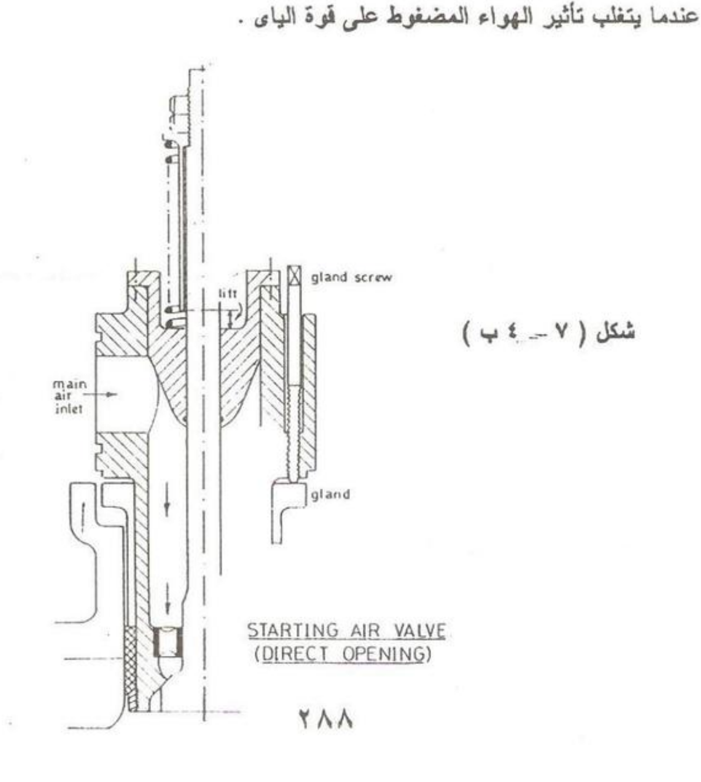
شكل (٧ ــ ٤ أ)

ويصنع جسم الصمام من الصلب ، أما العمود فمن سبائك الصلب ذات قوة الشد العالية وتقسى المقاعد أو تغطى بالستليت .



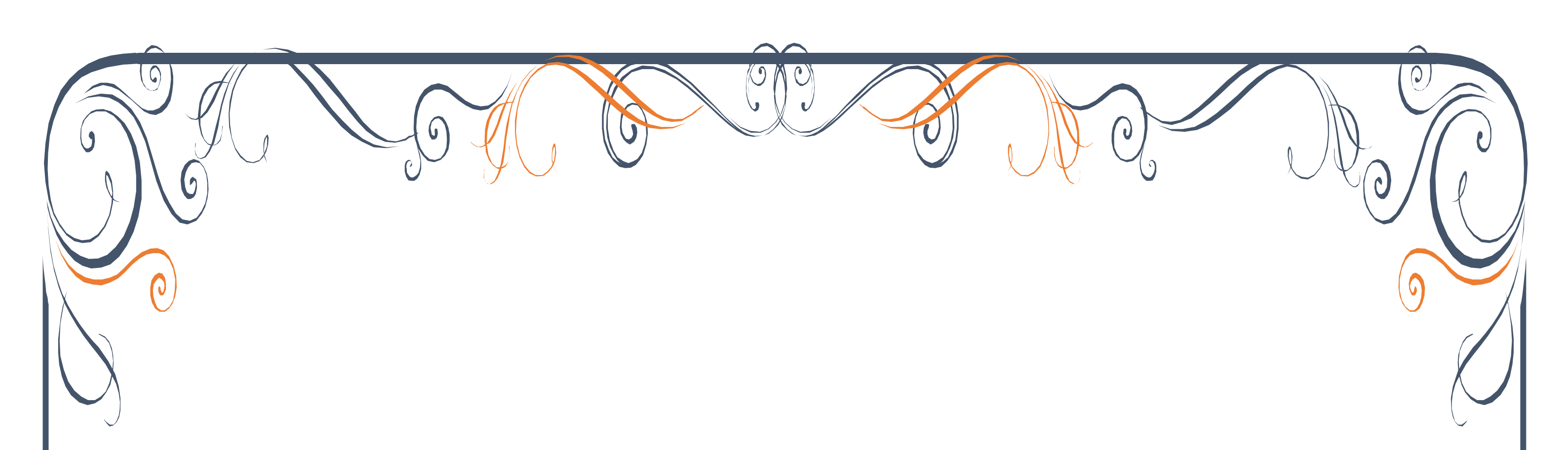


قد تبرد هذه الصمامات للاحتفاظ بدرجة حرارتها فى بعض الأحيان ، ولكن ليس جميعها.
يدخل الهواء المضغوط من الفتحة الرئيسية بالمنتصف ويحاول فتح الصمام ولكن ليس له أى تأثير حيث أن المساحة السفلية مساوية للمساحة العلوية ، ويكون الصمام مغلق تماماً بتأثير الياى (لا يوجد أى ضغط على المكبس من أعلى حيث أن الحيز متصل بالهواء الجوى عن طريق الموزع) .
ويبدأ الصمام فى الفتح عند تأثير الهواء المضغوط الواصل إليه عن طريق الموزع أعلى المكبس ، وبذلك يتم دخول الهواء المضغوط من الفتحة الرئيسية إلى الاسطوانة ، فيدفع المكبس إلى أسفل ، ويبدأ المحرك فى الدوران حتى يكتسب السرعة الكافية لحدوث اشتعال الوقود ، ويلاحظ أنه أثناء المناورة تقع جميع هذه الصمامات تحت تأثير الهواء المضغوط .
والشكل (٧ ــ ٤ ب) يوضح تصميم آخر لصمام بدء الحركة (ذو الفتح المباشر) ويعمل بتأثير حدبة تتحكم في فتح صمام آخر لدخول الهواء المضغوط إلى الوحدة التى عليها الدور فى ميعاد معين ولفترة محدودة . وفكرة تشغيله بسيطة للغاية ، حيث يتم الفتح عندما يتغلب تأثير الهواء المضغوط على قوة الياى .



شكل (٧ ــ ٤ ب)





٧ ـ ٤ توزيع هواء بدء الحركة

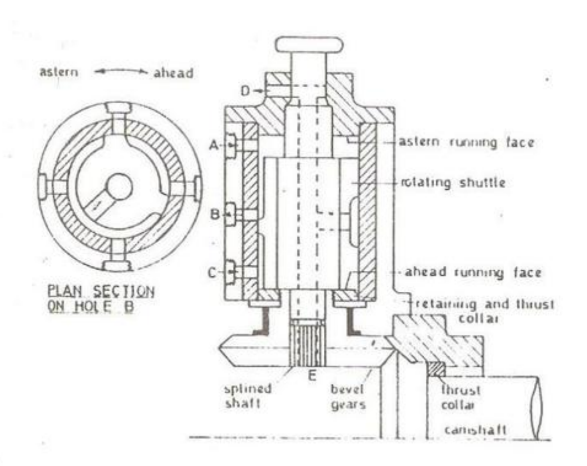
Starting air distribution

لإمكان فتح وقفل صمام بدء الحركة على الاسطوانات المحددة فى لحظة معينة بالهواء المضغوط يستخدم الموزع Distributer أو صمامات التوزيع Timing or distribution valves .

٧ ـ ٤ ـ ١ موزع هواء بدء الحركة Air-distributer

عبارة عن قرص دوار يأخذ حركته من عمود الكامات وبه فتحات بعـدد الوحـدات . ويوجد عدة تصميمات ولكن لها نفس الفكرة الأساسية وهى توصيل الهواء بالصمام المعين لبدء الحركة فى وقت محدد وبترتيب سليم وتوصيل الصمامات الأخرى بالهواء الجوى .

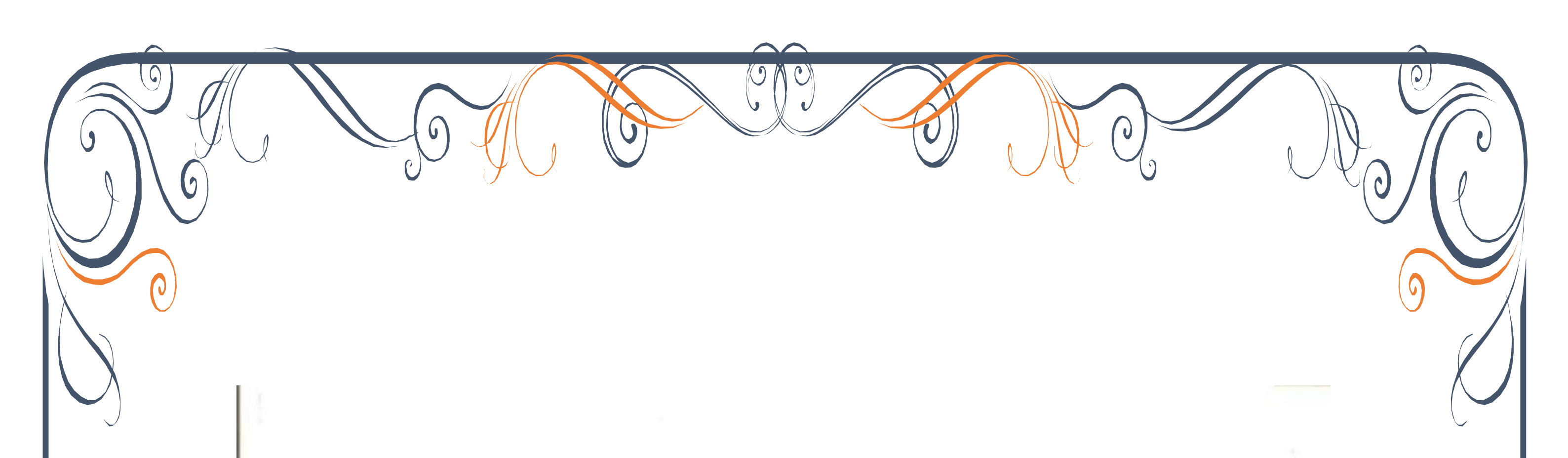
والشكل (٧ ـ ٥) يوضح أحد هذه الأنواع لمحرك ذات أربعة أسطوانات ويعمل بقلب دوار Revolving shuttle يمكن أن يدور وينزلق على عمود Spindle-shaft والوضـع المبين بالرسم هو للحركة للأمام Ahead .



STARTING AIR DISTRIBUTOR

شكل (٧ ـ ٥)





عند تحريك يد التشغيل " للأمام " يدخل الهواء من صمام المرشد Pilot-valve إلى الثقب A ويمر إلى صمام الاسطوانة المعينة والتى عليها الدور من الثقب B حيث يدور المحرك ، ويقفل قلب الدوار الهواء عن الثقب B ويوصله بالجو عن طريق الثقب الموجود فى العمود وكذلك الفتحات E,D .

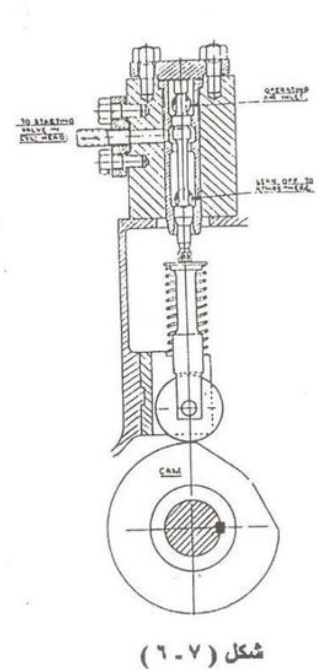
عند تحريك يد التشغيل إلى الخلف Astern يدخل الهواء من صمام المرشد عند الثقب C ويضغط على القلب الدوار حيث يرفعه لأعلى وعندئذ يسمح بمرور الهواء المضغوط إلى صمام الاسطوانة المعينة عن طريق الثقب B .

الوضع المبين بالمقطع يوضح أن اسطوانتين متصلتين بالهواء الجوى في حين الثالثة مقفلة والأخيرة متصلة بالهواء المضغوط عن طريق صمام المرشد .

٧ – ٤ – ٢ صمامات التوزيع : Starting-air distribution valves

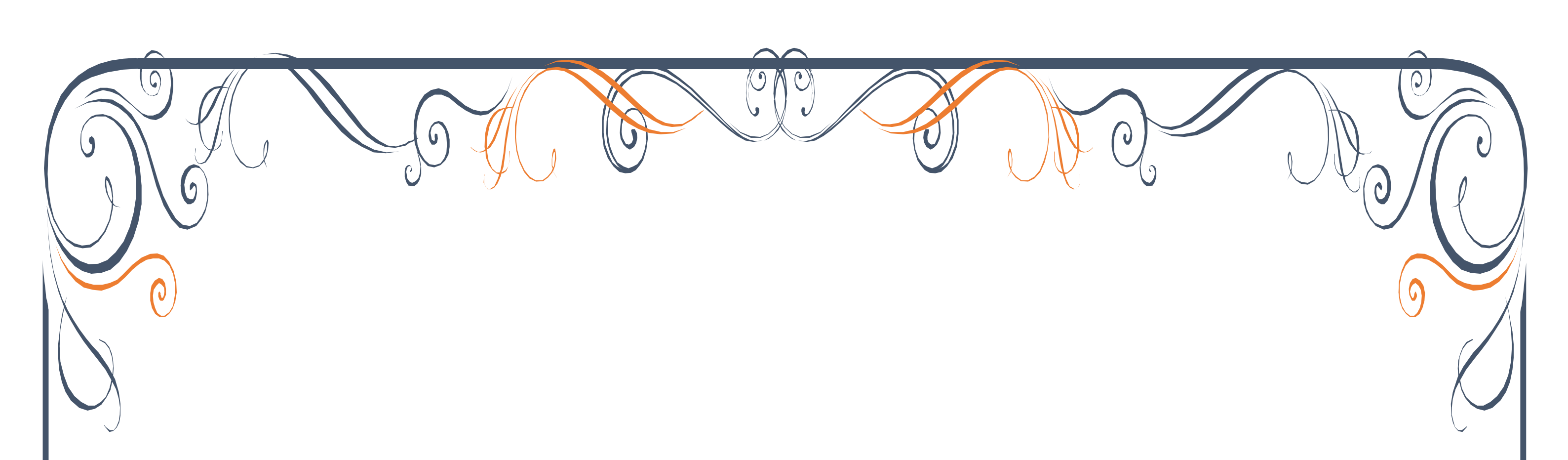
ولها عدة تصميمات ولكن الشكل (٧ – ٦) يعطى الفكرة المطلوبة . ويكون عدد هذه الصمامات بعدد الاسطوانات ويتم التحكم فى فتح الصمامات والتوقيت عن طريق كامة سالبة حيث تكون جميع الصمامات محيطة بها . ووضع الحدبة الموضح بالرسم يبين أنه ليس وضع " تقويم " بالنسبة لهذه الوحدة ، حيث أن وضع صمام التوزيع لأعلى يغلق سريان الهواء .

وتوجد الحدبة على عمود الحدبات الرئيسى أو غيره ويأخذ حركته من عمود المرفق ويوجد كامة أو أكثر لتشغيل هذه الصمامات تضمن وجود التداخل overlap بين الصمامات ، بحيث يوجد دائماً صمام مفتوح مهما كان وضع عمود المرفق .



شكل (٧ - ٦)

نسألكم من صالح الدعاء



بتغيير وضع الحدبة بدورانها عكس عقارب الساعة ، يتخذ الصمام الوضع السفلى بتأثير ضغط الهواء على المكبس العلوى ضد الياى ، ويسمح للهواء المضغوط بالضغط على مكبس صمام بدء الحركة الموجود على الاسطوانة ويفتحه .

بعد ٩٠° (فى هذه الحالة) يرتفع مكبس الصمام لأعلى بتأثير الحدبة ويوقف سريان الهواء المضغوط ويتصل بالجو ، وقبل قفله يفتح الآخر الذى يليه .

ولعكس الحركة يوجد لكل صمام من هذه الصمامات حدبتين متجاورتين على عمود يتحرك طولياً للحصول على وضع " أمام " أو " خلف " .

٧ـ٥ عكس الحركة

Reversing

لإمكان تحريك السفينة " للخلف " يلزم إيجاد وسيلة لتغيير اتجاه دوران الرفاص ويتم ذلك بالآتى :

أولاً : باستخدام الرفاص المتغير الخطوة Controllable pitch propeller

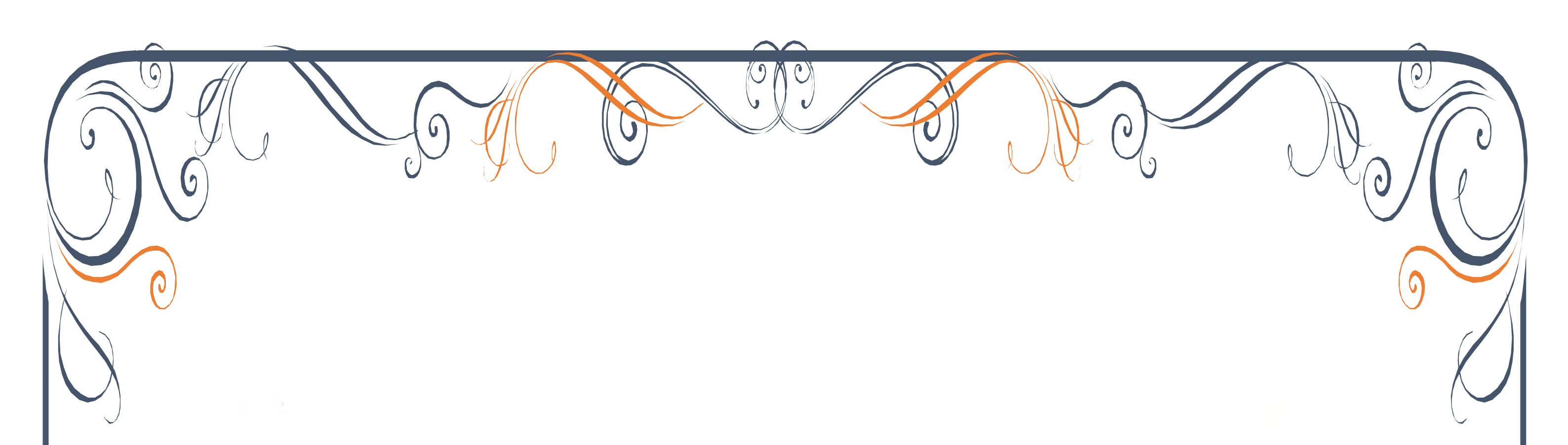
وذلك عن طريق مجموعة هيدروليكية متصلة بداخل عمود الرفاص وتعمل بضغط الزيت لتغيير اتجاه ريش الرفاص بغرض تغيير حركة السفينة للأمام أو الخلف ، وذلك مع ثبوت دوران المحرك فى اتجاه واحد .

ثانياً : باستخدام تعشيقة عكس الحركة Reversing clutch

وتستخدم هذه الطريقة فقط فى حالة المحركات المتوسطة السرعة والسريعة ذات الحركة الدورانية فى الاتجاه الواحد والموجودة على بعض السفن الصغيرة أو متوسطة الحمولات .

ثالثاً : باستخدام محرك ذات الحركة الدورانية فى الاتجاهين :

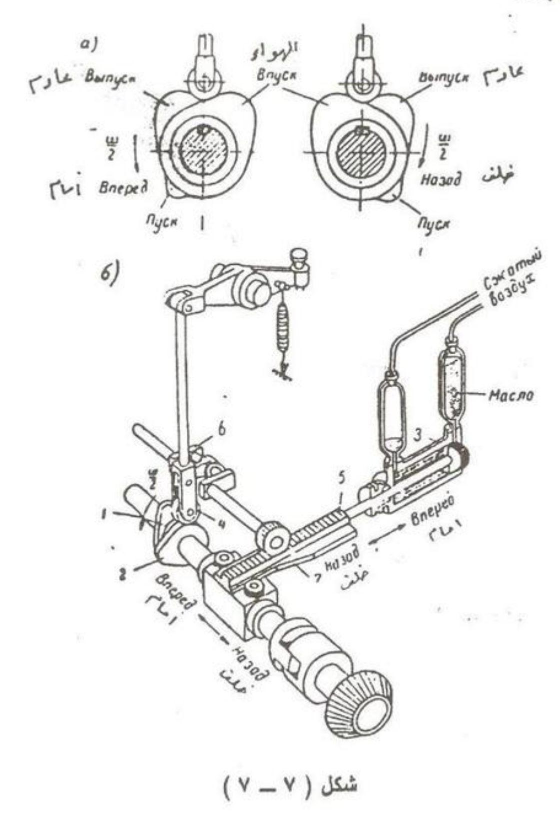
ويمكن أن يتم ذلك باستخدام عمود حدبات عليه مجموعتين من الحدبات أحداها للحركة للأمام " Ahead " والأخرى الحركة للخلف "Astern" أو باستخدام طريقة الحركة المفقودة lost-motion لعمود الحدبات .



٧ ــ ٥ ــ ١ : عكس الحركة بواسطة الحركة المحورية لعمود الكامات

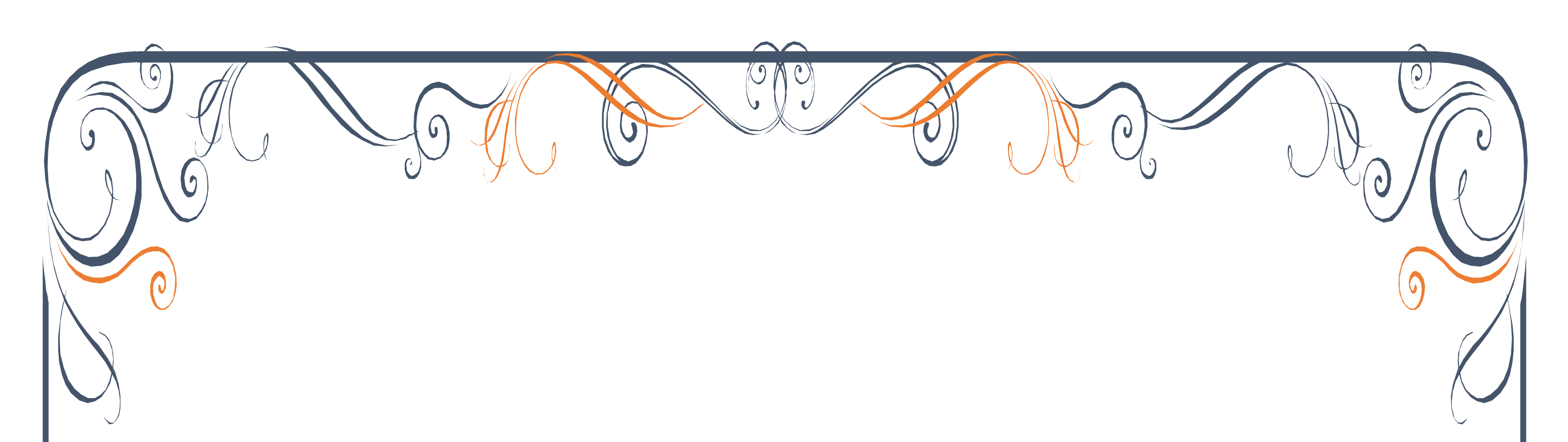
Cam shaft reversing

إذا كان المحرك الديزل رباعى الأشواط ، يتطلب الأمر تغيير توقيت صمامات الحر والعادم ومضخات حقن الوقود . وللحصول على ذلك توضع كامات أخرى خاصة بالحركة " للخلف " مجاورة لتلك المستخدمة فى الحركة " للأمام " . وفى هذه الحالة يتم عكس الحركة بتحريك عمود الكامات حركة محورية ، حتى تبعد كامات " الأمام " عن التوابع ويحل محلها كامات " الخلف " . ولأداء ذلك يتطلب الأمر رفع التوابع عن الكامات ويتم ذلك كما سنرى فيما بعد .



شكل (٧ ــ ٧)





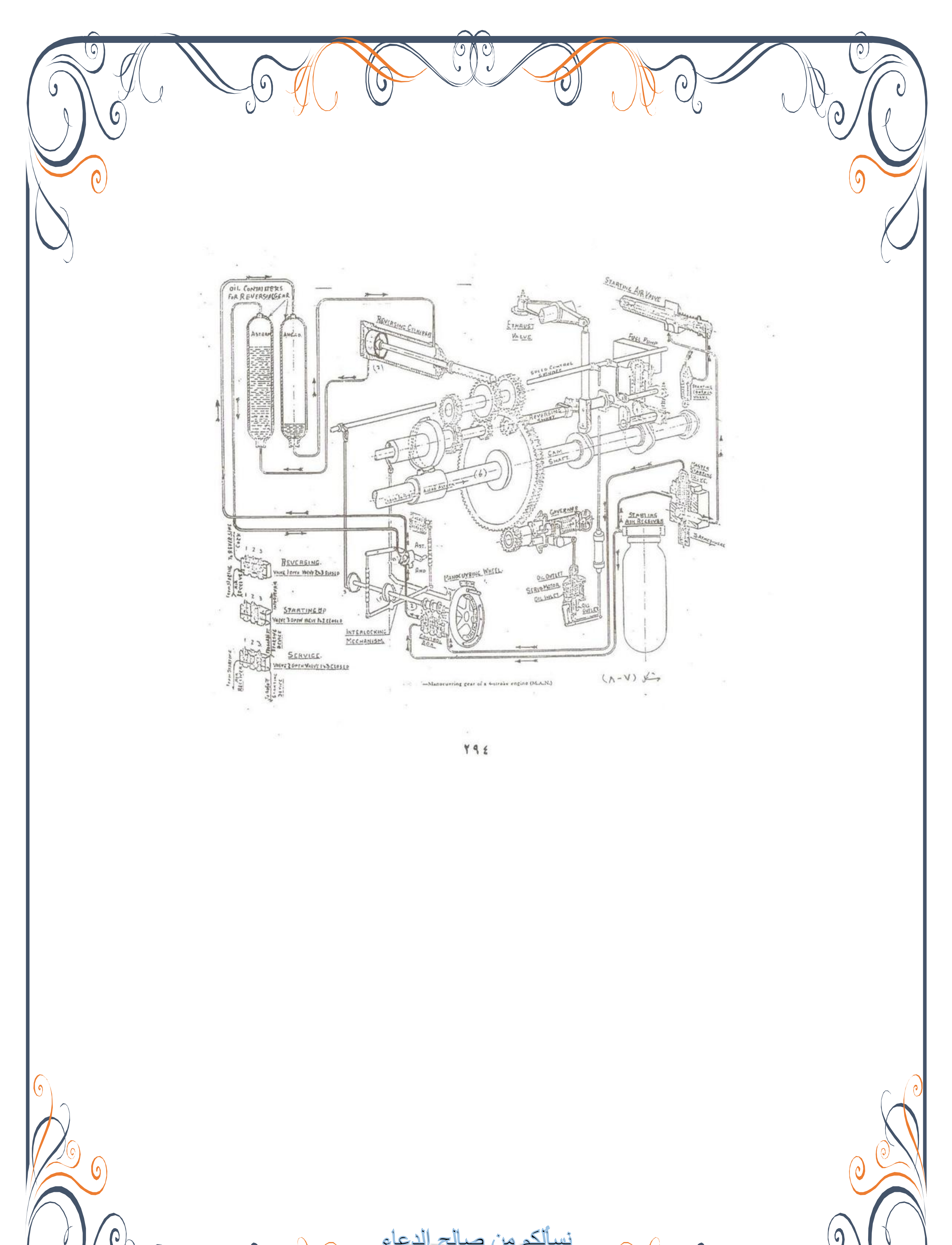
ويوضح شكل (٧ ــ ٧) فكرة عكس الحركة باستخدام الهواء المضغوط ، وتتكون مجموعة عكس الحركة أساساً من صهريجين صغيرين للزيت ويعملان بتأثير الهواء المضغوط والمتصلين بالاسطوانة والكباس الصغير (٣) ويتصل عمود الكباس بجريدة مسننة (٥) والتى لها سطح جانبى مسلوب (٧) يعمل على تحريك عمود الحدبات حركة محورية .

تعشق الجريدة المسننة مع ترس صغير متصل بعمود مرفقى (٦) لرفع عجلة عمود الدفع(٤) إلى أعلى ــ ثم إعادته ثانية بعد إتمام تحريك عمود الحدبات الحركة المحورية المطلوبة .

يزود عمود الحدبات بمجموعتين من الحدبات أحداها للأمام (٢) والأخرى للخلف (١) .

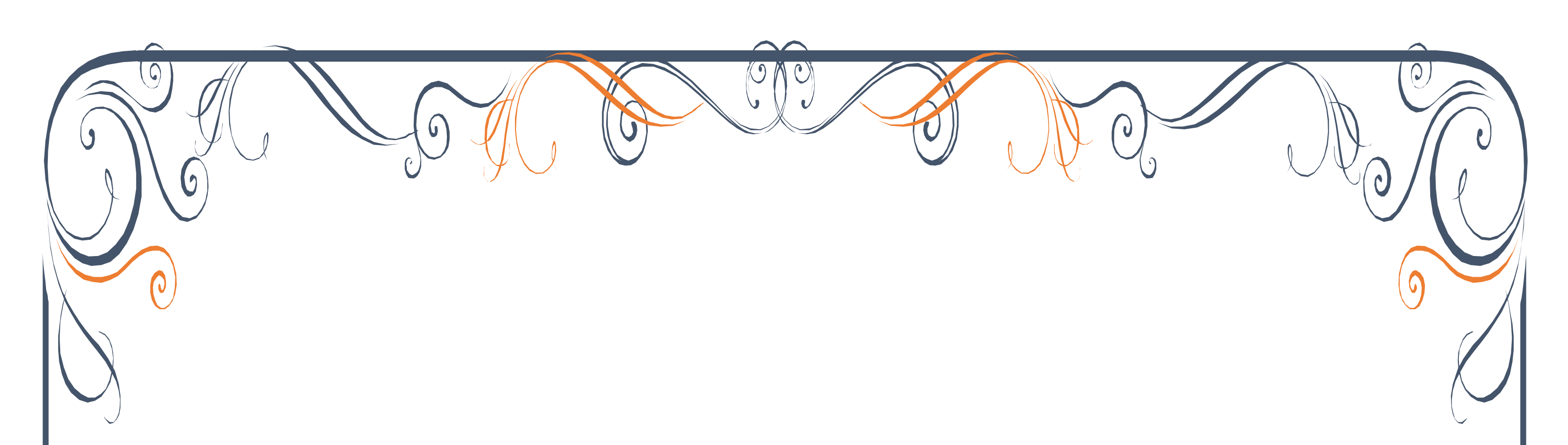
عند تحريك طارة التشغيل إلى وضع " الخلف " Astern ، يفتح صمام المرشد الهواء المضغوط على سطح زيت صهريج حركة الخلف ، ويعمل الضغط على دفع الكباس فى اتجاه " الخلف " ثم عن طريق حركة الجريدة المسننة يدور الترس المعشق فيرفع العمود المرفقى عجلة عمود الدفع عن الحدبات ، وفى الوقت نفسه يعمل المسلوب الجانبى على تحريك عمود الحدبات الحركة المحورية للوضع " الخلف " حتى تتخذ حدبات الخلف الوضع الجديد تحت عجلة عمود الدفع ، وعندئذ يعمل العمود المرفقى على إعادة عمود الدفع إلى حدبات " الخلف " .

والشكل (٧ ــ ٨) يوضح بالسهولة كيفية بدء الحركة وعكسها بنفس ما أتبع فى كلاً من الحالتين (٧ ــ ٢ ، ٧ ــ ٣) ولكن تزود هذه المنظومة بعمود خاص لعكس الحركة يسمى Reversing-shaft ويحتوى على قرص عليه بروز بشكل خاص يعمل عند دورانه على تحريك عمود الكامات الحركة المحورية المطلوبة .



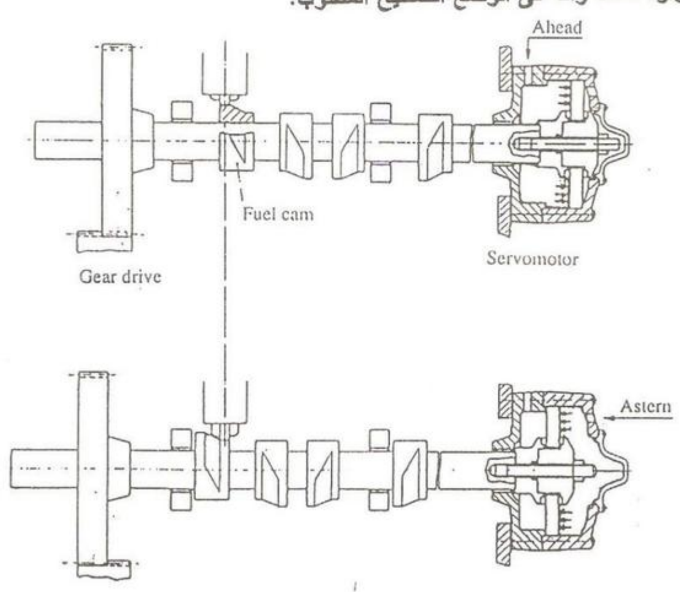
—Manoeuvring gear of a 4-stroke engine (M.A.N.)

شكل (٧-٨)



وللسهولة يتم تنفيذ ذلك دون رفع التابـــع بعمل انحــدار Ramp بين كامتى " الأمام " و " الخلف " فتنزلق عجلة التابع بنعومة من وضع للآخر عند تحريك العمود محورياً وذلك باستخدام الضغط الهيدروليكى على مكبس الاسطوانة التى تحتوى على الزيــت والمتصـل بعمود الكامات ويتضح ذلك من الشكل المبسط (٧ ــ ٩) .

وتوجد وسائل أمان لا تسمح بقيام المحرك الديزل إلا بعد أن يكـون العمــود قـد أتـم مشواره تماماً وأنه فى الوضع الصحيح المطلوب.



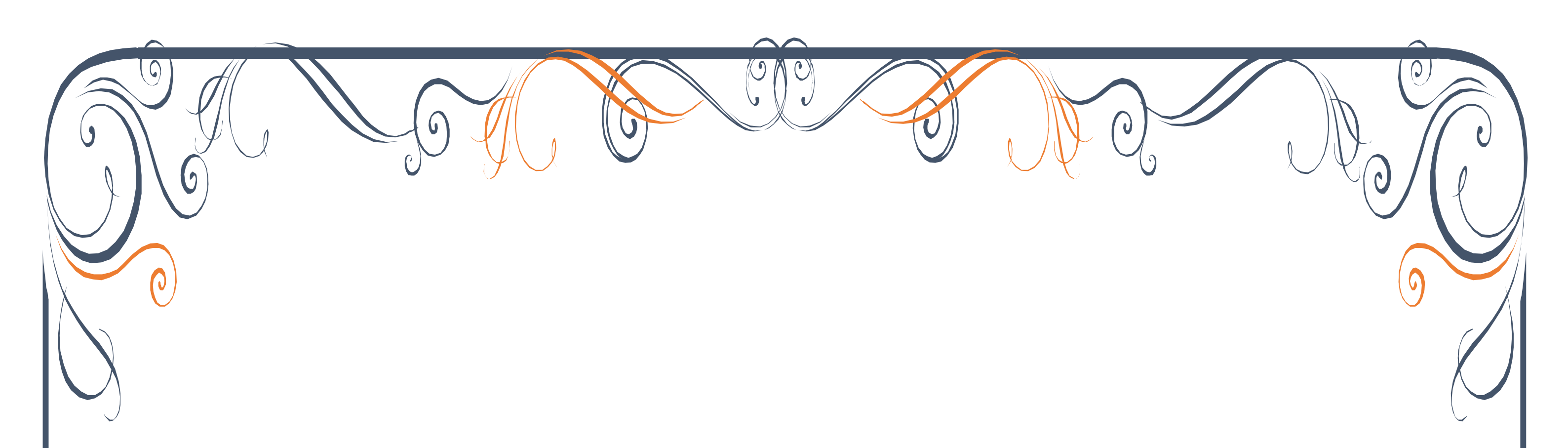
Four-stroke camshaft reversing (Sulzer)

شكل (٧ ــ ٩)

٧ ــ ٥ ــ ٢ عكس اتجاه الدوران بالحركة المفقودة لعمود الحدبات

Reversing by lost-motion clutch

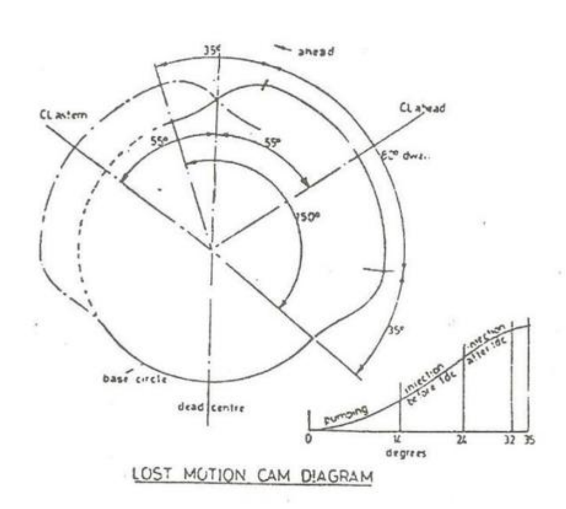
حيث أن المحركات الرباعية الأشواط المتوسطة السرعة والمستخدمة كمحرك رئيسـى يتصل بعمود الرفاص عن طريق مجموعة تروس التخفيض ، ولذا فإن الحاجة قليلة لعكس حركتها ، والاتجاه الحديث لتصنيع معظمها باتجاه واحد .



ولكن معظم المحركات ثنائية الأشواط بطيئة السرعة تتصل مباشرة بعمود الرفـاص ، ولذا فإن عكس حركتها شئ ضرورى ، وقد سبق شرح كيفية عكس الحركة لمحرك ثنـائى بواسطة تحريك عمود الحدبات محورياً ، ولكن توجد طريقة أخرى تتميز بالبساطة ويستخدم فيها حدبة واحدة للاتجاهين ، وتتم باكتساب عمود الحدبات حركة مفقودة ، ولذا فإنه مـن الضرورى تعديل وضع الحدبة المستعملة فى السير " للأمام " لإمكان استعمالها كذلك فـى حالة السير " للخلف " وعدم تحريك عمود الحدبات محورياً . وهذا يعنـى تزويـد عمـود الحدبات بتعشيقة ليا حركة مفقودة Lost-motion clutch .

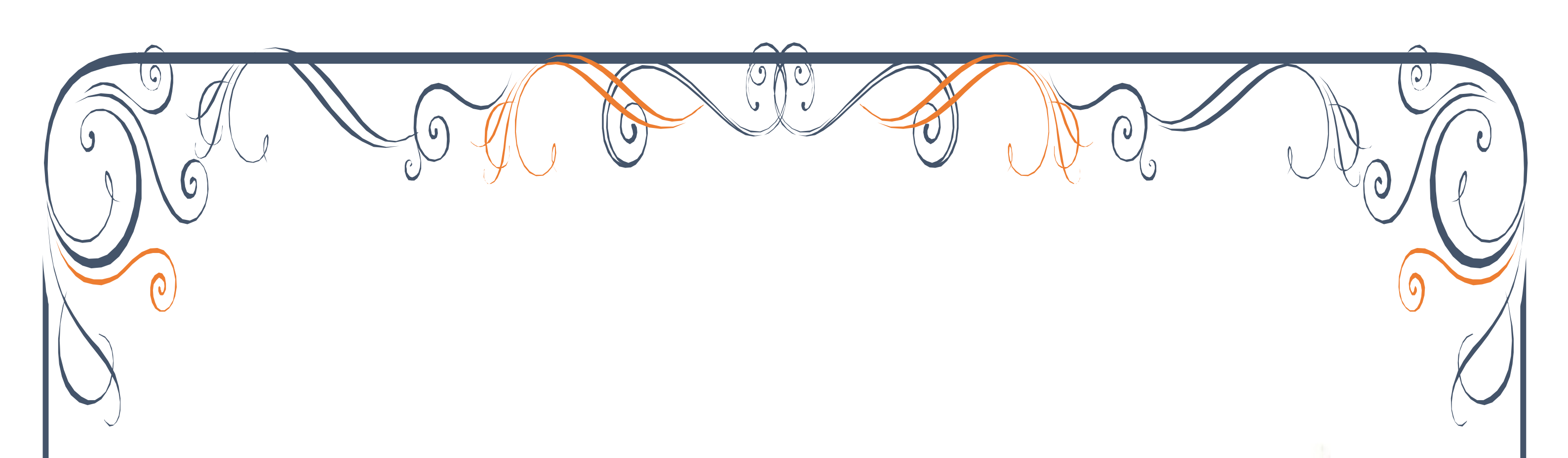
<u>ويمكن توضيح عملها كالآتى :</u>

بالنظر للشكل (٧ ــ ١٠) نجد أن خط المنتصف للحدبة فى وضع " أمام " هـو ٥٥° قبل ن.م.ع. للحقن الصحيح بالوقود ، وأن اتجاه الدوران فى عكس اتجاه عقرب الساعة . ولدوران المحرك فى الاتجاه المخالف " للخلف " أى فى اتجاه عقرب الساعة يجـب أن يكون وضع هذه الحدبة مرحل بمقدار ٥٥° + ٥٥° = ١١٠° (الخط المنقط) .



LOST MOTION CAM DIAGRAM

شكل (٧ ــ ١٠)



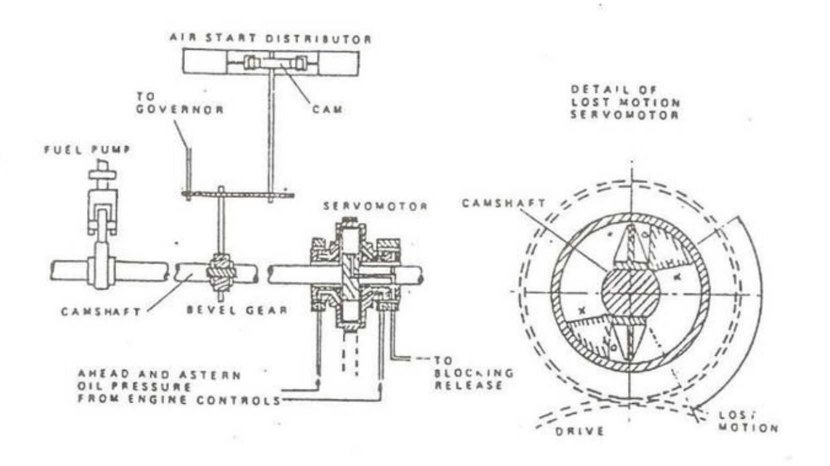
ويمكن توضيح كيفية الحصول على الحركة المفقودة بالنظر للشكل (٧ – ١١) المبنى على استخدامها فى محركات السولزر العديدة ، ولها حركة مفقودة مقدارها ٩٨° ويتم ذلك بواسطة ضغط الزيت من المنظومة الى المؤازر .

عند طلب عكس الحركة يتبادل الضغط مع التصفية وعليه يدور القلاب المثبت عليه عمود الحدبات فى عكس اتجاه عقارب الساعة ، وتتخذ الحدبة الوضع الجديد ، ويبقى هذا الضغط مؤثراً طوال التشغيل حتى تكون أسطح القلاب متصلة تماماً لنقل الحركة .

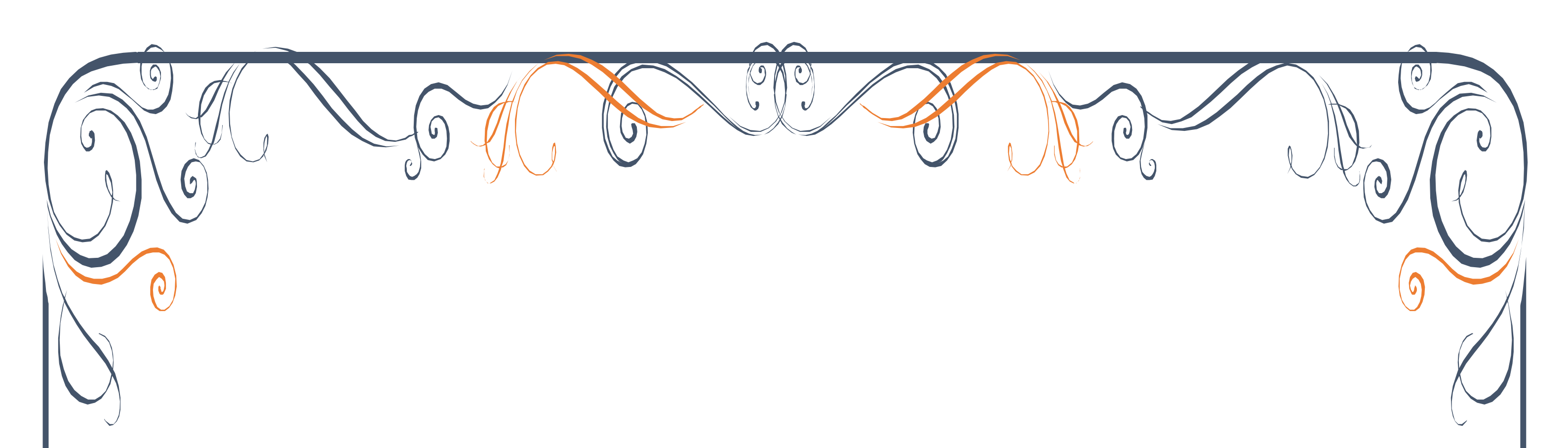
ويوجد فى هذا الشكل فقط مضخات الوقود والموزع والمطلوب عكس الحركة بالنسبة لهما ، ولكن فى حالة وجود صمامات العادم ، فهى تحتاج أيضاً لعكس الحركة بالنسبة لها فيوجد مؤازر آخر لها .

ويجب أن تزود المنظومة بوسائل التواشج Interlocks لتمنع تشغيل المحرك عند عدم استكمال الحركة المفقودة ، وعند استكمالها تسمح كامة الموزع بتوجيه هواء البدء للاسطوانة المعينة .

وفى المحركات الحديثة يوجد بعض التغييرات على هذا التصميم ولكن الفكرة واحدة .



شكل (٧ ــ ١١)

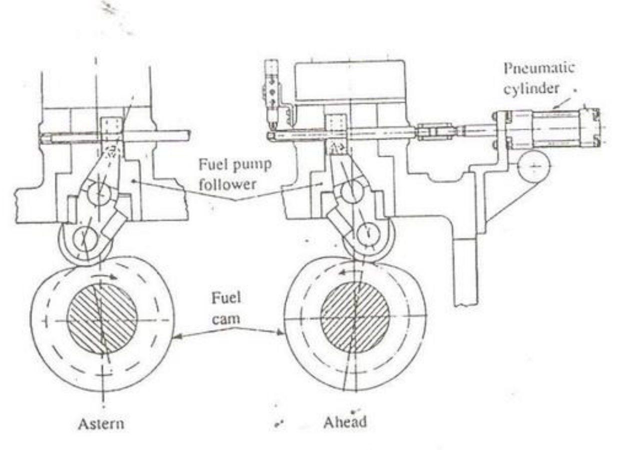


<u>٧ ــ ٥ ــ ٣ عكس الحركة بتغيير وضع التابع على الكامة</u>

Reversing of engine by displacing follower rollers

تثبت كامات الوقود للمحرك الديزل MAN-B&W MC على عمود الكامات مباشرة ، ولكن عجـــلات التوابع يمكن تغيير وضعهـــا لتغيير توقيت الحقن كما يتضح من الشـــكل (٧ ــ ١٢) ويتم تغيير وضع التوابع بواسطة مكبس واسطوانة يعمل بالهواء المضـــغوط pneumatic من منظومة هواء بدء الحركة .

ويوجد جهاز حساس sensor على كل مضخة يوقف الوقود فى حالـــة إذا كانـــت أداة الربط لم تثبت فى مكانها الصحيح .

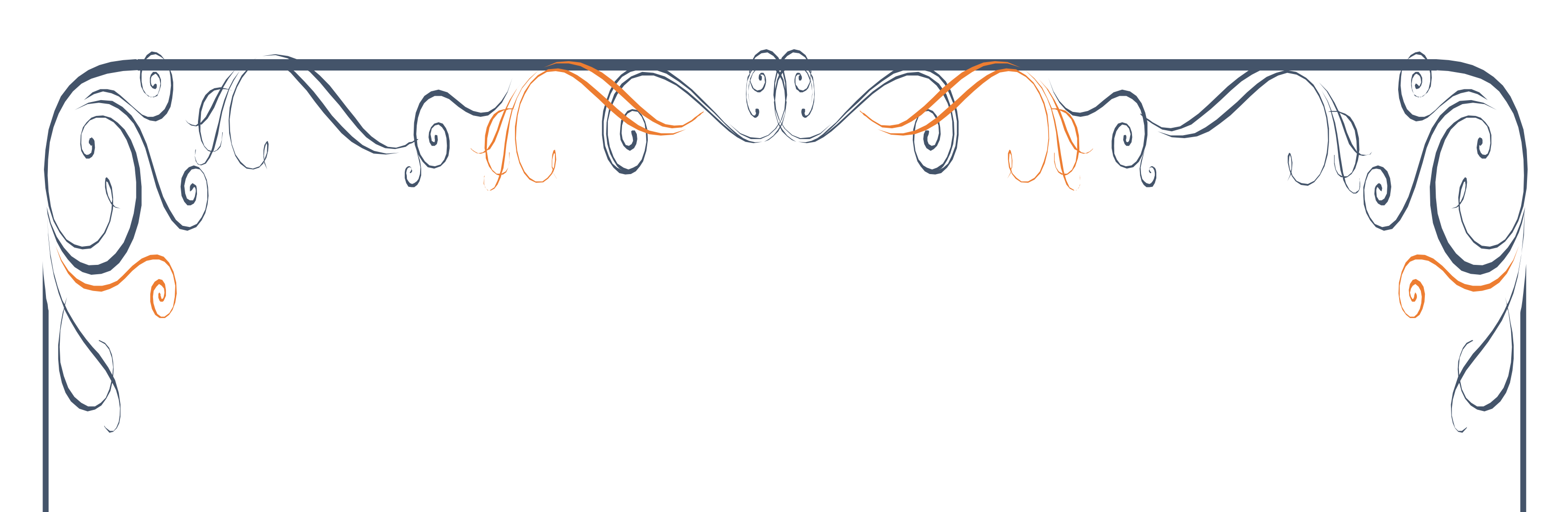


MAN—B & W reversing system

شكل (٧ ــ ١٢)

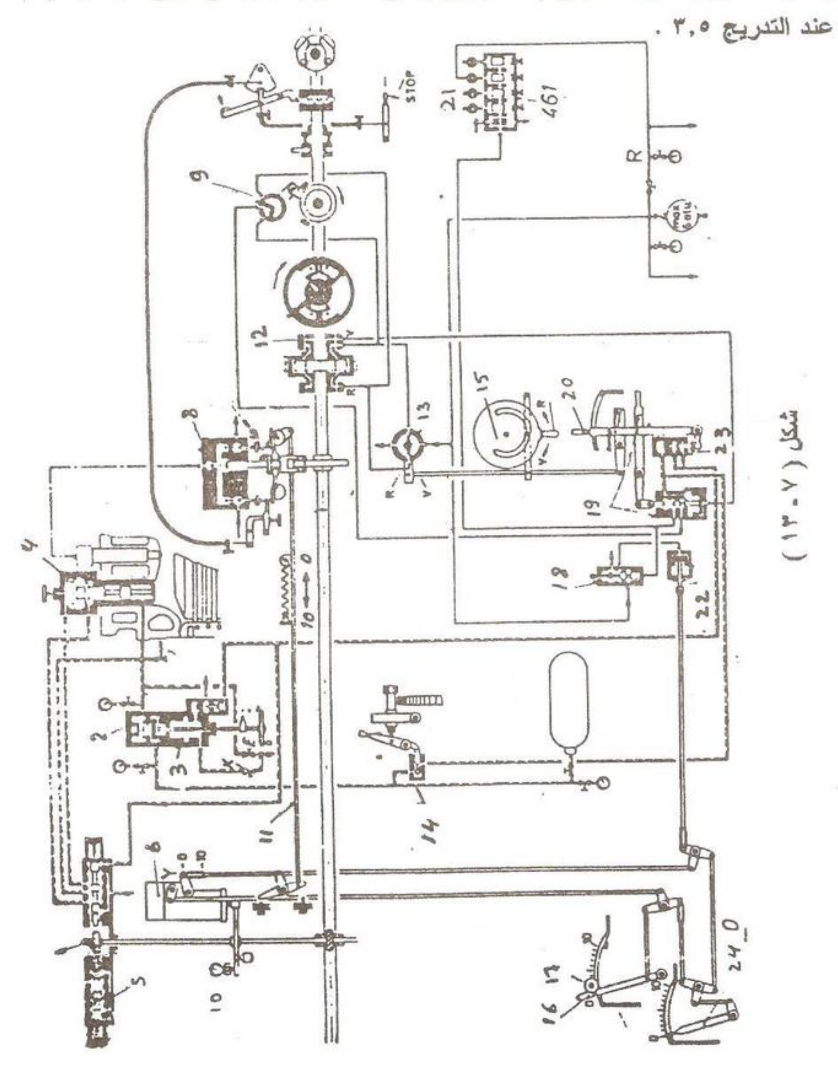
<u>٧ ــ ٥ ــ ٤ جهاز المناورة لمحرك ثنائى الأشواط ماركة " سولزر "</u>

يوضح شكل(٧ ــ ١٣) مجموعة المناورة لمحرك ديـــزل " ســـولزر " طـــراز RND ويستخدم الهواء المضغوط ٣٠ بار لبدء الحركة وضغط الزيت ٦ بار .

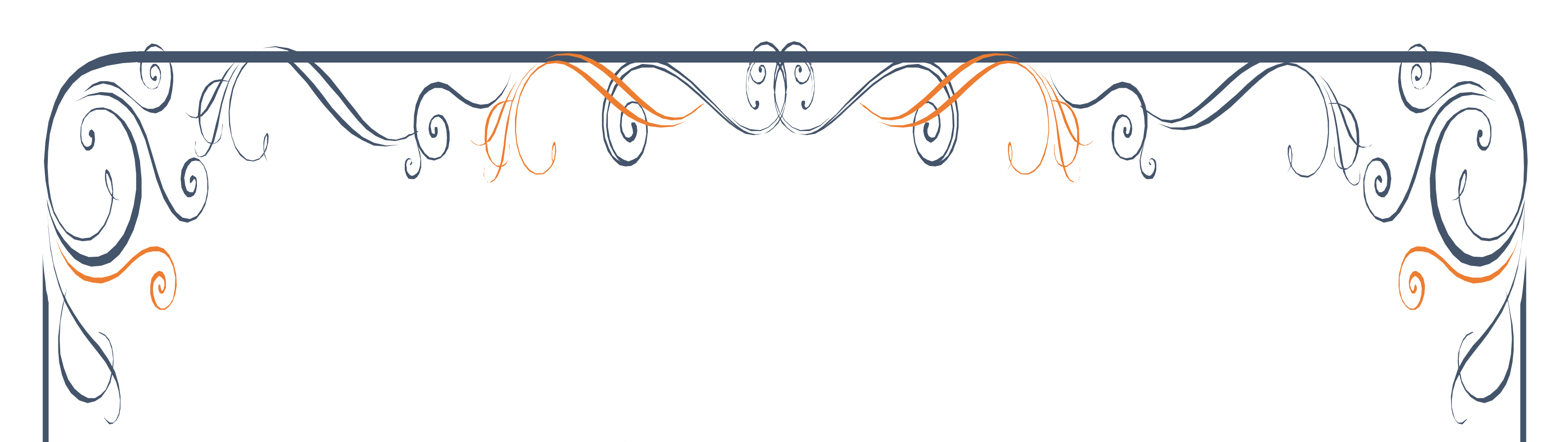


تحدد يد التلغراف (١٥) اتجاه الدوران وتتحكم بدورها فى حركة صمام عكس الحركة (١٣) بحيث يسمح بمرور الزيت تحت ضغط إلى السرفوموتور (١٢) الذى يحرك عمود الكامات فى الاتجاه المطلوب .

عند وصول السرفوموتور إلى نهاية الوضع يسمح للزيت بالوصول الى وحدة التثبيت Blocking - device (١٩) وعندئذ يفك القيد عن ذراع بدء الحركة (٢٠) ويسمح له بالحركة ، ويتم تحريك الذراع (٢٠) إلى وضع ' تقويم ' وتوضع ذراع الوقود (١٦) عند التدريج ٣,٥ .



شكل (٧ - ١٣)



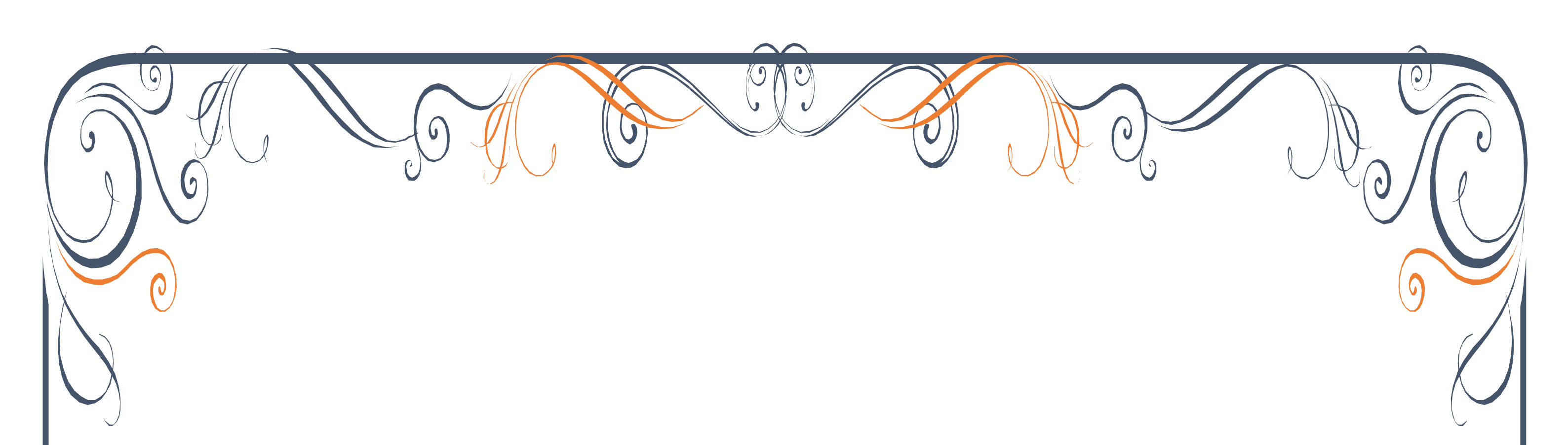
يحرك الزيت المضغوط فى الوقت نفسه الصمام (١٨) إلى أعلى ، فيسمح بدخول الزيت إلى الاسطوانة (٢٢) وحركة كباسها تسمح بحرية حركة روافع الوقود لتتخذ وضعاً يناظر وضع الذراع (٢٤) الذى بدوره يتحدد بوضع رافعة الوقود (١٦) .

ملحوظة :

يثبت على خط الزيت وسيلة أمان Cut-out (٢١) الخاصة بمياة التبريد وزيت التزييت ، بحيث إذا انخفض ضغط مياة التبريد أو زيت التزييت عن حد معين فإن مجموعة التحكم تمنع الزيت ويؤدى ذلك إلى قطع الوقود عن المحرك .

أ ـ بدء الحركة : Starting

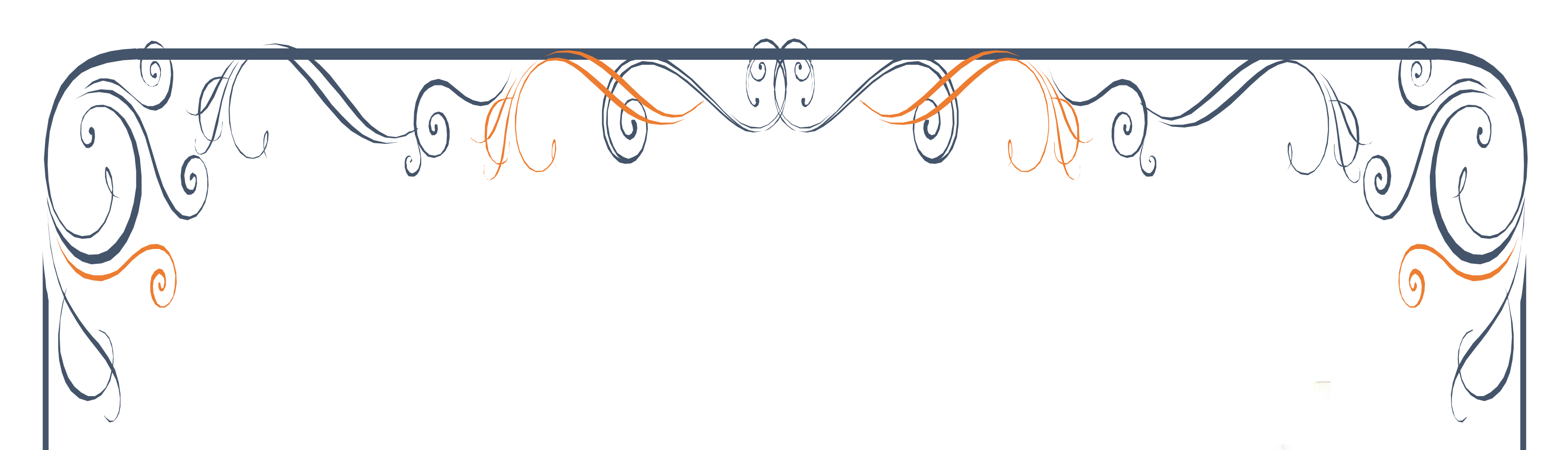
- بتحريك ذراع بدء الحركة (٢٠) إلى وضع " تقويم " يفتح صمام المرشد (٢٣) ويدخل الهواء إليه عن طريق صمام يثبت على مجموعة التقليب الخاصة بالمحرك الرئيسى (١٤) بحيث لا يسمح بمروره إلا بعد فصل مجموعة التقليب .
- وبفتح صمام المرشد (٢٣) يسمح بتصريف الضغط من أعلى الصمام الآلى (٣) ويعمل على فتحه ليسمح بمرور الهواء المضغوط من الدائرة إلى صمام بدء الحركة (٤) الموجود على الاسطوانة (مقفلاً) وينتظر دوره عندما يفتح بواسطة ضغط الهواء الواصل إليه عن طريق الصمام المنظم (٥) الذى يعمل بواسطة حدبة التقويم (١) .
- وعندما يفتح الصمام (٥) يسمح بمرور الهواء إلى فوق كباس الصمام (٤) فيفتحه ويدخل الهواء المضغوط لتقويم المحرك . بعد إدارة المحرك وحرق الوقود يعود ذراع بدء الحركة (٢٠) الى وضعها الأصلى بواسطة الياى .
- بقفل صمام المرشد (٢٣) يتصرف الهواء من ماسورة التوزيع إلى الجو ، وبنزول الضغط وتأثير الياي تبعد العجلة عن الحدبة (١) ويقفل صمام بدء الحركة (٤) .



ب ـ عكس الحركة : Reversing

- يتم عكس الحركة من وضع " الأمام " إلى وضع " الخلف " بتحريك ذراع التلغراف (١٥) من وضع " الأمام " إلى وضع " وقوف " ، وتعاد ذراع الوقود (١٦) إلى التدريج ٣,٥ لمنع زيادة حقن الوقود عند إعادة بدء الحركة .
- طوال فترة وجود يد التلغراف فى وضع الوقوف فإن ذراع بدء الحركة (٢٠) تثبت فى مكانها بواسطة وحدة التثبيت (١٩) .
- وبتحريك ذراع التلغراف (١٥) إلى وضع " وقوف " فإن صمام عكس الحركة (١٣) يأخذ وضع " وقوف " بحيث يخفف الضغط من الصمام المؤدى إلى سرفوموتور عكس الحركة (١٢)،ونتيجة لانخفاض الضغط فإن صمام المنزلق (١٨)يتحرك إلى أسفل بتأثير الياى ، وهذا بطبعه يخفف الضغط الواقع على كباس " سرفوموتور " قطع الوقود (٢٢) الذى يمنع وصول الوقود إلى مضخات الحقن (٨) .

  كذلك يخفف الضغط المؤثر على مكبس وحدة تثبيت ذراع بدء الحركة (١٩) بواسطة الصمام المنزلق (١٨) .
- عندما تنخفض سرعة المحرك بمقدار كاف ، يتم تحريك ذراع التلغراف إلى وضع " الخلف " بحيث يجعل سرفوموتور عكس الحركة (١٢) فى وضع " الخلف "- يمر زيت التحكم ضاغطاً على الصمام (١٨) ووحدة تثبيت ذراع بدء الحركة (١٩) بحيث يسمح بحرية تحريك ذراع بدء الحركة (٢٠) .
- بتحريك ذراع بدء الحركة فى اتجاه الحركة فإن مجموعة التحكم السابق ذكرها تأخذ وضع الحركة ، وبهذا يتحرك المحرك الحركة الخلفية متفقة مع وضع التلغراف ، وتقوم وسيلة الأمان لاتجاه الدوران (٩) Direction safety interlock بالسماح لذراع الوقود بالتحرك .
- ويمكن عكس الحركة بطريقة سريعة بتحريك يد التلغراف من وضع " الأمام " إلى " الخلف " بدون انتظار وقوف المحرك ، حيث أنه طالما تم تغيير وضع سرفوموتور عكس الحركة تماماً ، فإن وحدة تثبيت ذراع بدء الحركة تسمح بحرية حركة ذراع بدء الحركة ، يقف المحرك الدائر إلى الأمام فى الحال ، ويبدأ حركته



فى اتجاه الخلف وفى نفس الوقت تقوم وسيلة الأمان لاتجاه الدوران (٩) بالسماح بإمداد الوقود طالما تغير دوران المحرك إلى الخلف .

- وفى حالة الطوارئ فإنه يمكن وضع نراع الوقود (١٦) عند تدريج أعلى من ٣,٥ أى ٥ مثلاً ، على أن لا يحدث هذا إلا فى الحالات الطارئة كالخوف من التصادم .

٧ ــ ٥ ــ ٥ : وسائل المنع والتواشج Interlocks and blocking-devices

لضمان التشغيل الآمن لمحركات الديزل البحرية ، تزود منظومات المناورة بوسائل منع ووسائل تواشج (تعشيقات) بحيث لا يمكن بدء أو عكس حركة الماكينة إلا بعد إتمام بعض الخطوات المعينة (ضماناً للتشغيل السليم) وهى إما أن تكون ميكانيكية أو كهربية أو تعمل هيدروليكياً بالزيت . وعلى سبيل المثال بالنظر للشكل (٧ــ١٣) :

- وسيلة منع يد التشغيل من الحركة (١٩) :

١ ــ ميكانيكية : تمنع من تحريك يد التشغيل إلا بعد تحريك يد التلغراف على الوضع المطلوب .

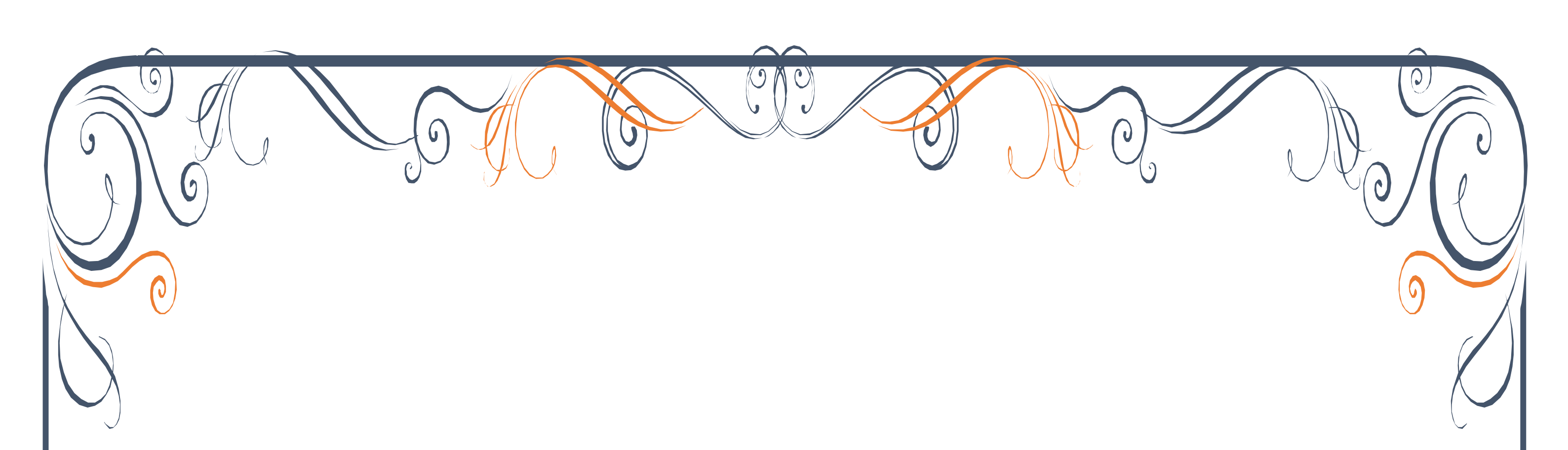
٢ ــ هيدروليكية : لا يمكن تحريك يد التشغيل (حيث أنها ممسوكة أيضاً بوسيلة المنع الهيدروليكى) إلا بعد إتمام دوران عامود الكامات تماماً ووصوله إلى النهاية (فيزيد ضغط الزيت إلى المستوى الذى يمكن عنده فتح وسيلة المنع ويسمح بيد التشغيل بالحركة) .

وسيلة منع وصول الهواء لصمام المرشد (١٤) إذا كان ترس التقليب معشق ، أى تسمح بمرور الهواء إلى صمام المرشد فقط بعد فصل تعشيقة ترس التقليب .

- وسيلة التواشج (تعشيقة) بدء الحركة Interlock

تمنع قيام لمحرك الديزل على الوقود (أثناء عملية التقويم) إلا بعد إتمام بعض الترتيبات والخطوات الضرورية للتقويم ، وعلى سبيل المثال تعشيقة تحديد الاتجاه (٩) .

ــ تختبر اتجاه الدوران أثناء التقويم مع وضع التلغراف ، فعند التطابق تسمح



بدخول الزيت إلى المؤازر (٢٢) ليفتح الوقود ، أو تمنع إعطاء الوقود فى حالة عدم تطابق اتجاه الدوران مع وضع التلغراف .

ـ كذلك أثناء عكس حركة المحرك الديزل تؤكد وسيلة التواشج أن آليـة عكـس الحركة قد أتمت جميع العمليات المطلوبة لها ، وذلك قبل دخول هواء بدء الحركة لصمامات البدء ، أى تمنع قيام المحرك الديزل فى اتجاه دوران خاطئ .

ـ علاوة على ما سبق توجد وسيلة الأمان (٢١) القاطع cutout لا تسمح بتمرير الوقود إلا إذا كان ضغط الزيت ومياة تبريد الاسطوانات والمكابس لا يقـل عـن قيمة محددة له ، وألا تمنع سريان الوقود .

أسـئلة

١. ارسم وأوصف دائرة هواء بدء الحركة الذى يتم فيها فتح صمامات بدء الحركة علـى الاسطوانات بواسطة الموزع .

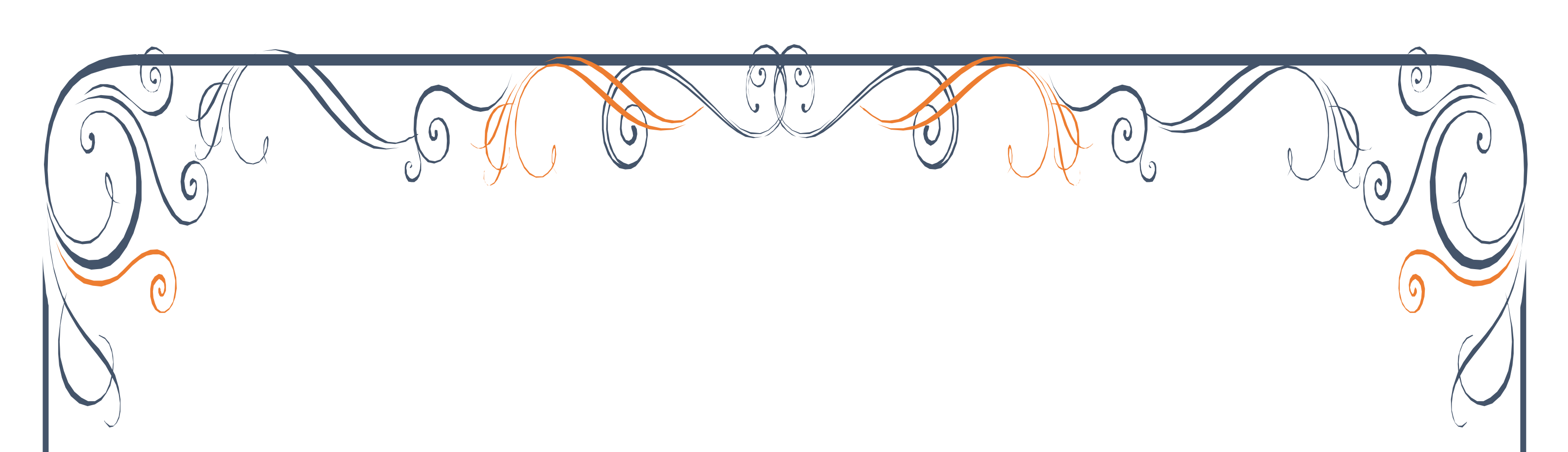
٢. ارسم واشرح طريقة عمل موزع هواء بدء الحركة .

٣. ما المقصود بالتداخل بين توقيت صمامات هواء بدء الحركة ؟ وما الغرض منه ؟

٤. أرسم وأوصف صمام بدء الحركة بالهواء والمناسب للمحرك الديزل الرئيسـى . كيـف يمكن اختباره ؟ أذكر ماذا يحدث لو زرجن هذا الصمام عند الفتح .

٥. أوصف طريقة عكس حركة محرك ديزل رباعى رئيسى .

٦. كيف يمكن عكس الحركة فى محرك رئيسى كبير ثنائى الأشـواط ؟ أرسـم تخطيطيـاً منظومة عكس الحركة بطريقة ' الحركة المفقودة ' وأوصف طريقة الأداء .



الباب الثامن

الشحن الزائد Pressure-charging

تتطلب زيادة حمولات السفن التجارية وسرعاتها فى الوقت الحاضر ، زيادة قدرات محركاتها ، مع ضرورة الاحتفاظ بأقل حجم ووزن لها .

وبتحليل معادلة القدرة :

Engine power : $P = p_m . L . A . n . N$ (KWatt)

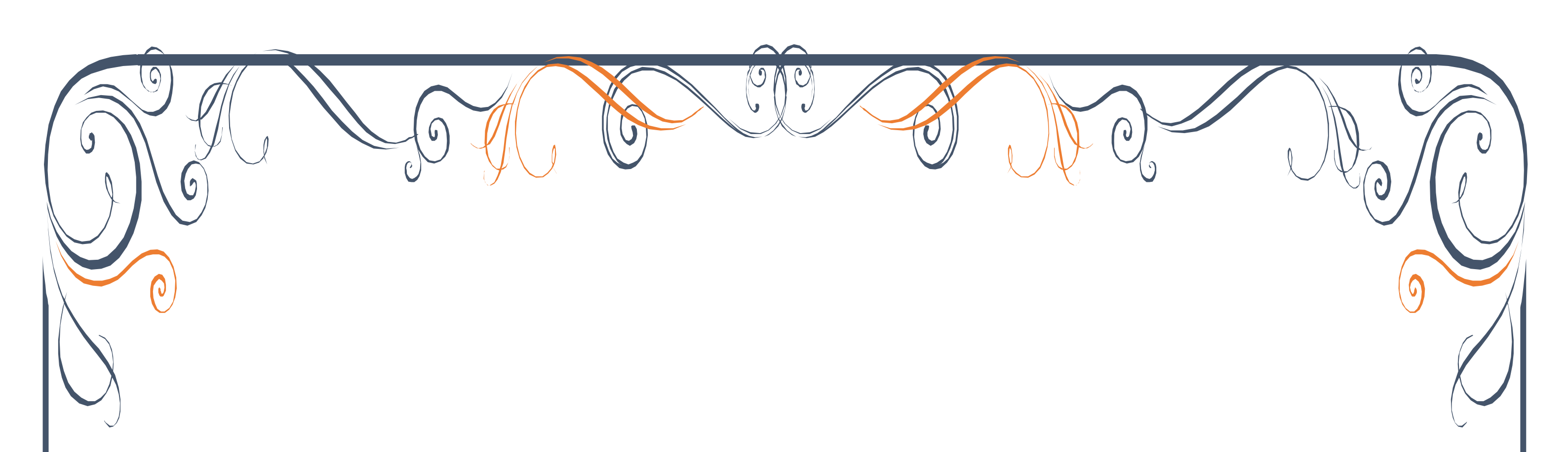
Where :

- الضغط المتوسط البيانى p_m – mean indicated pressure (KN/m^2)
- المشوار L – stroke (m)
- مساحة الاسطوانة A – area of piston (m^2)
- عدد المشاوير الفعالة n – no of power strokes per secs.
- عدد الاسطوانات N – Nº of cylinders

نجد أن قدرة المحرك تعتمد على حجم الاسطوانة وعدد الوحدات والسرعة والضغط المتوسط الفعال فى الاسطوانة ، ومن هذا يتضح أنه :

أ – يمكن زيادة القدرة بزيادة عدد الوحدات ، ولكن عملياً لم يزد عدد الاسطوانات فى محركات الصف الواحد عن ١٢ وحدة ، وإلا زاد طول المحرك عن المقبول . وإذا اتجهنا إلى المحرك على شكل حرف V ، أمكن زيادة عدد الاسطوانات ولكن بحجوم محدودة .

ب – يمكن زيادة القدرة بزيادة حجم الاسطوانات ، ولكن هذا سوف يزيد من حجم المحرك ووزنه ، وعليه أخيراً لم يزد القطر فى أحدث محركات الديزل البحرية عن ٩٨٠مم فى المحرك B&W – K98MC ونسبة المشوار إلى القطر ١ : ٤,٢ والسرعة حوالى ١٠٠ لفة / دقيقة . والاتجاه نحو زيادة القدرة بدون زيادة الوزن والحجم عن طريق استخدام المحركات ذات التأثير المزدوج لم تلق انتشاراً نتيجة صعوبات عملية ، وتحول الاتجاه إلى المحركات ذات المكابس المتضادة ، واقتصر انتاجها على شركة Doxford ولم تلق هى الأخرى انتشاراً .



جـ ــ يمكن زيادة القدرة كذلك عن طريق زيادة السـرعة ، وبـذلك تزيـد السـرعة المتوسطة للمكبس C_m ويزيد البرى وقوى القصور الذاتى والتى تسبب صعوبات فى التصميم . هذا علاوة على أن زيادة سرعة المحرك تفقد اتصاله المباشر بعمود الرفاص وتوجب ضرورة وجود تروس التخفيض أو المحركات الكهربائيـة التـى تزيد من التكلفة والصيانة .

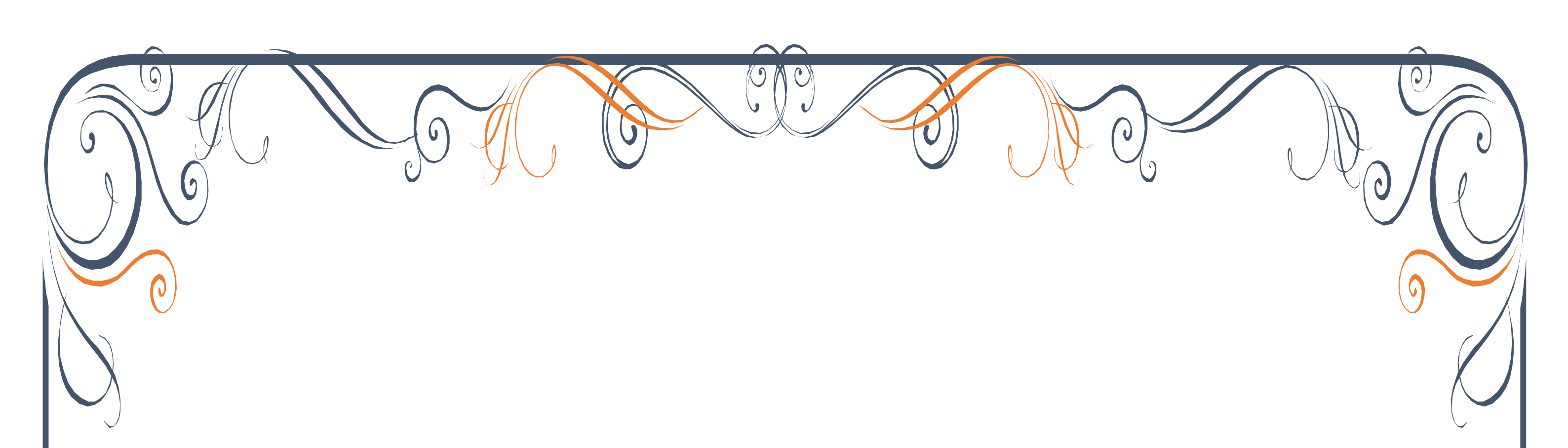
د ــ يمكن كذلك العمل على زيادة الضغط المتوسط وأن أسهل طريقة لتحقيق ذلك بزيادة كمية الوقود ، ولكن لا يمكن تنفيذ ذلك فى المحرك العادى حيث أن مقدار الهـواء اللازم للاحتراق سيصبح غير كاف ، مما يقلل من كفاءة المحـرك ويزيـد مـن الاجهادات الحرارية . ويمكن استعمال هذه الطريقة فقط لفترة قصيرة فـى حالـة التشغيل على الحمل الزائد فى حدود ١٠% من قدرة المحرك ولمدة ساعة واحـدة كل ١٢ ساعة .

إلا أنه يمكن زيادة الضغط المتوسط الفعال عن طريق رفع ضغط هـواء الشـحن للاسطوانة وتسمى هذه الطريقة بالشحن الزائد Super-charging .

وبذلك يمكن زيادة القدرة النوعية للمحرك Specific power حيث أنه يزيد كـلاً مـن وزن شحنة الهواء والوقود فى نفس مشوار الكسح مع الاحتفاظ بأنسب قيمة لمعامل الهواء الزائد . وعليه أمكن الحصول على أنسب احتراق وبدون زيادة الاجهادات الحرارية علـى الأجزاء .

ووصلت قيمة الضغط المتوسط الفعال إلى ٢١,٣ بار فى المحـرك PC-4 Pielstick وبذلك أصبحت القدرة الحصانية للاسطوانة (قطر ٥٧٠ مم والمشـوار ٦٢٠ مم) هـى ١٠٠٠ كيلووات ، وكذلك ض.م.ف. فى المحـرك ' سولزر ' متوسط السـرعة ZA50S إلى ٢٤,٧ بار ، وأصبحت القدرة الحصانية للمحرك الـديزل D = 500 m , L = 660m والسرعة ٤٥٠ لفة / دقيقة إلى ١٢٠٠ كيلووات / أسطوانة . وقد تزيد عدد الوحدات إلى 18V فيعطى المحرك قدرة تصل إلى ٢١,٦٠٠ كيلووات ، والمعـدل النـوعى لاسـتهلاك الوقود ١٨١ جم / كيلووات ساعة .

وباستخدام الشواحن الحديثة ذات التصميم المتقدم مثل الشاحن VTR 304P وصـلت نسبة ارتفاع الضغط إلى ١:٥ وعليه فقد زاد الضغط المتوسط الفعال إلى ٢٨ بار .



وتقيم الزيادة فى قدرة المحرك نتيجة الشحن الزائد بنسبة التشحين Super-charging ratio وهى :

نسبة الضغط المتوسط الفعال عند استخدام الشحن الزائد على الضغط المتوسط الفعال بدون شحن زائد ، وقد وصلت هذه القيمة إلى ٣ وتبعتها زيادة فى القدرة بحوالى ٢٠٠% .

٨ ـ ١ طرق الشحن الزائد Super-charging methods:

يوجد طريقتان للشحن الزائد وهما :

أ ـ الشحن الميكانيكى Mechanical super-charging

وفيه يأخذ الضاغط blower حركته من المحرك نفسه ، وعلى ذلك فإن كفاءة المحرك تتأثر بالقدرة التى يستهلكها الضاغط ، وفى هذه الحالة يكون ضغط الشحن محدوداً جداً لأنه بزيادته تزيد القدرة المطلوبة لتشغيل الشاحن blower وتعتبر هذه الطريقة غير اقتصادية .

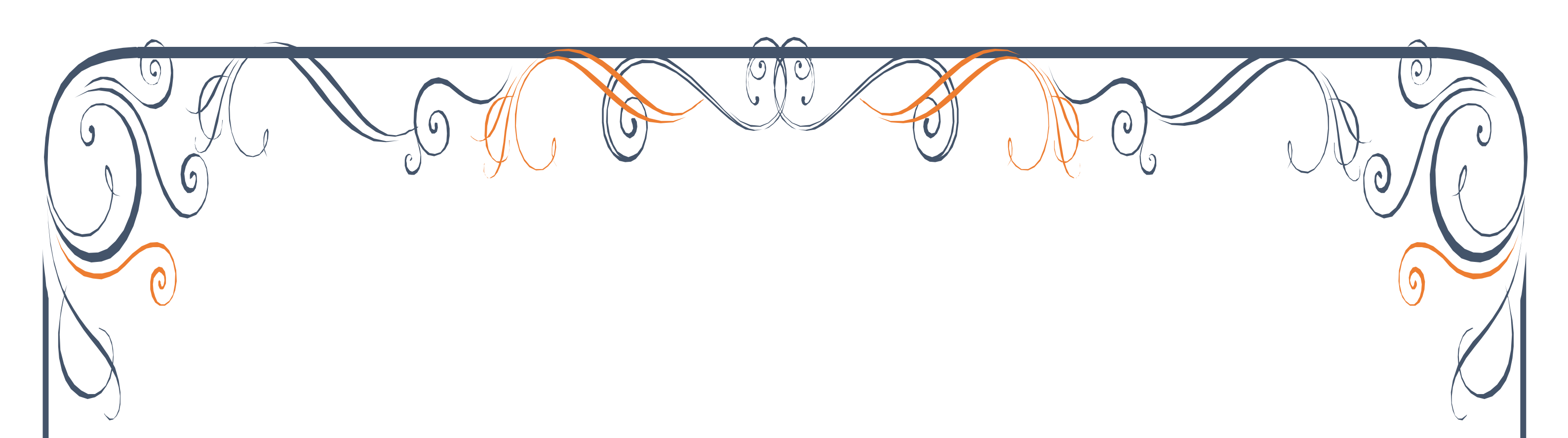
ب ـ الشحن بالتوربينة Turbo-pressure charging

تصل الطاقة المفقودة فى غازات العادم الى ٣٥% من طاقة الوقود وبذلك يمكن الاستفادة ببعض هذه الطاقة فى إدارة توربينة متصلة مباشرة بضاغط هواء يعمل بالطرد المركزى . والشكل (٨ ـ ١) لمنظومة الشحن الجبرى حيث يخرج العادم من الاسطوانات إلى توربينة الشاحن فتكتسب الحركة الدورانية ومنه الضاغط الذى يعمل بنظرية الطرد المركزى ، فيرتفع ضغط الهواء الذى تم سحبه من الجو ثم يتم تبريده فى المبرد لزيادة كثافته ومنه إلى مجمع هواء الكسح ، وعادة تزود هذه المنظومة بمروحة مساعدة كهربية.

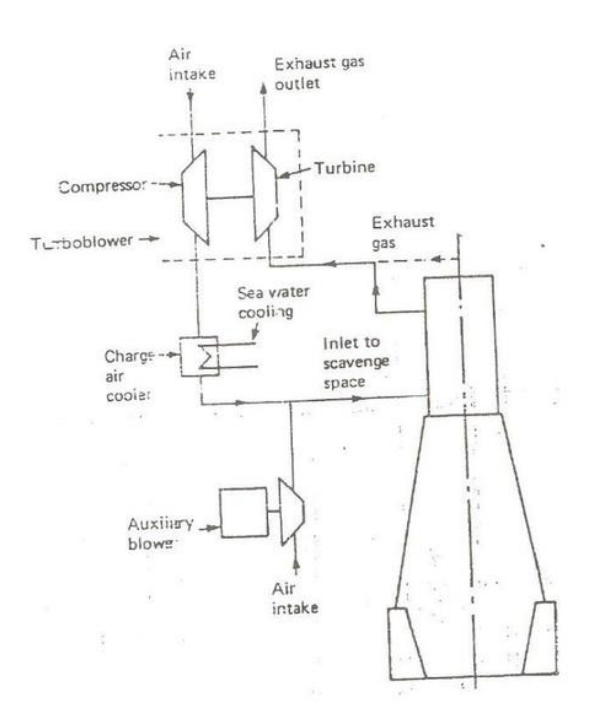
وتم التوصل بضغط الهواء بعد الضاغط إلى ما يقرب من ٣ بار ومنه إلى مجمع الهواء وعليه فتزيد الجودة الميكانيكية (نظراً لزيادة القدرة الفرملية مع ثبوت فاقد الاحتكاك تقريباً) وتزيد القدرة الممكن الحصول عليها من المحرك مع نقصان الاستهلاك النوعى للوقود .

ويترتب على زيادة ضغط الهواء بالتوربينة زيادة درجة حرارته ونقص كثافته بمقدار ملحوظ وعلى سبيل المثال :

بزيادة ضغط الهواء بـ ٠,٧ كجم / سم٢ ، ترتفع درجة حرارته إلى ٦٠° م وتقل كثافته بـ ١٧% .



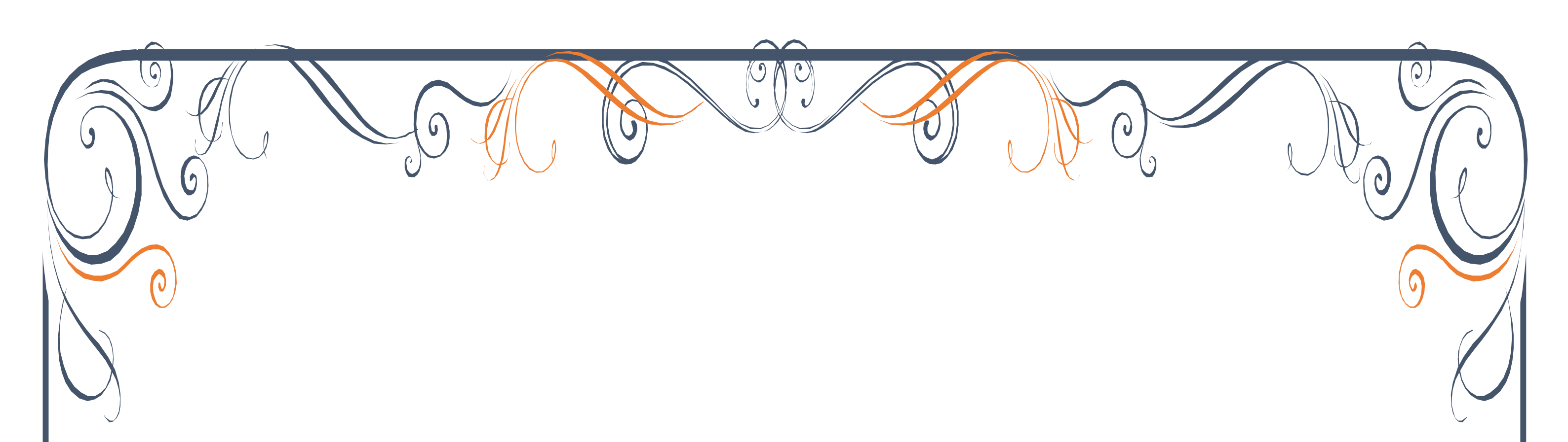
ولذا يجب تمريره على مبرد cooler مناسب لتقليل درجة الحرارة وزيادة الكثافة ممــا يؤدى إلى زيادة كفاءة الكسح والمحرك ، بالإضافة إلى تخليص الهواء من المياه المتكثفة .



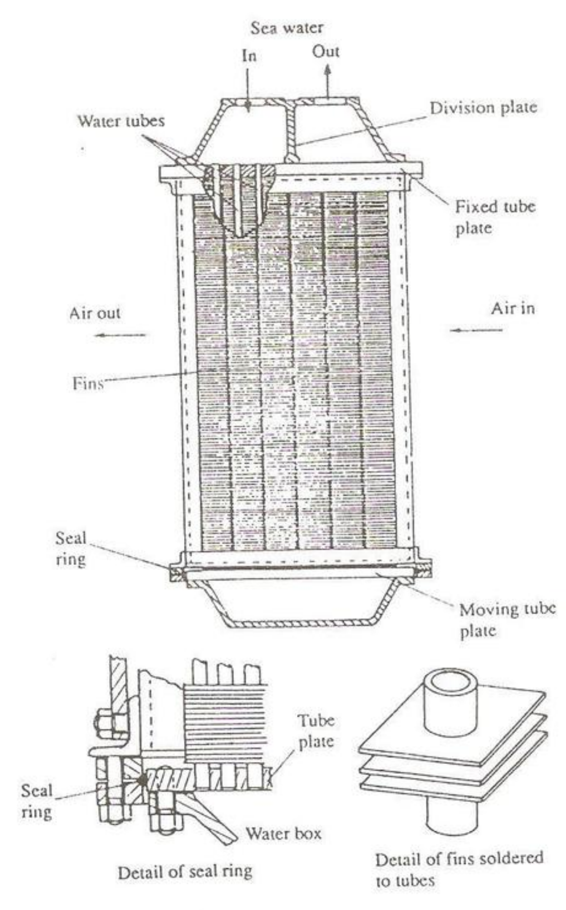
شكل (٨ ــ ١)

مبرد هواء الشحن Charge air cooler

يتكون المبرد (شكل ٨ ــ ٢) من مجموعة مواسير تصــنع مــن ســبيكة النحــاس والألمونيوم وتثبت من طرفيها فى اللوحين ، حيث تدخل مياه البحر فى الغطاء المصنع من حديد الزهر والمنصف إلى قسمين (كما يتضح من الشكل) ليسمح بدوران المياه مرتين فى المواسير أى دخول وخروج .

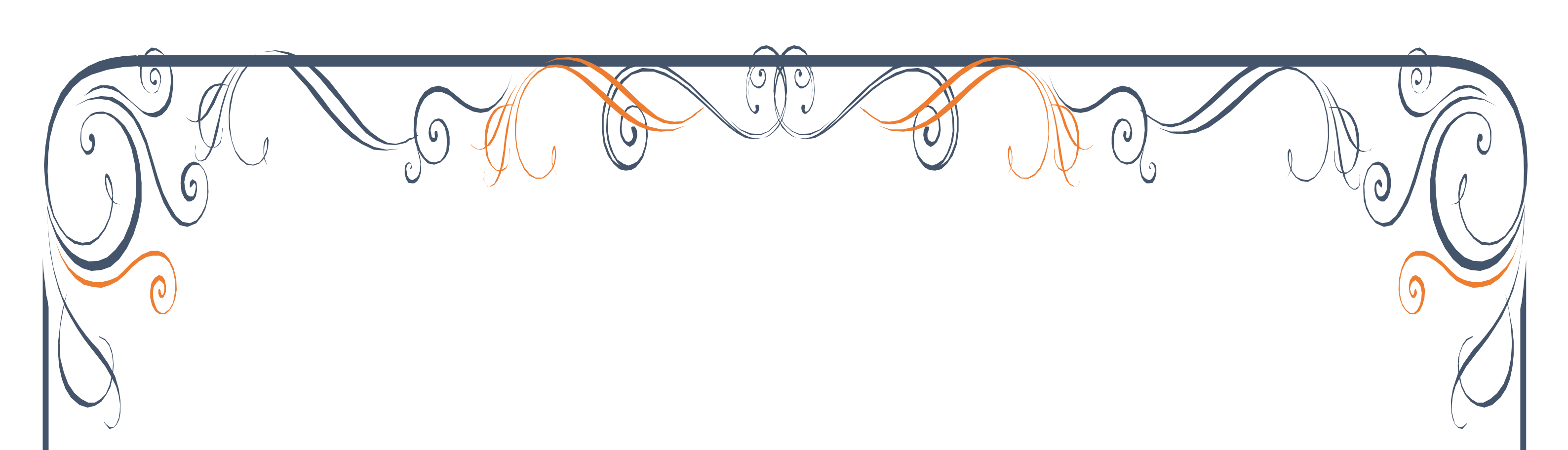


وللسماح بتمدد المواسير يثبت أحد اللوحين بينما يسمح للآخر بحرية الحركة حيث يزود بحلقة مطاطية لمنع التسريب ، ويوجد تنفيث vent بأعلى لإخراج أى هواء فى طريق المياه كما يزود حيز المياه بأصابع زنك لمنع التأثير الجلفانى .



شكل (٨ ــ ٢)

ولزيادة الانتقال الحرارى ، يمرر الهواء بين زعانف أو رقائق نحاسية يتم لحامها بالقصدير فى المواسير وتصل درجة حرارة الهواء بعد المبرد إلى ٤٥ ــ ٥٥° م ، وذلك لزيادة كثافته ، هذا مع العلم أن زيادة تبريد الهواء يعمل على :



- حدوث صدمة حرارية للقميص .
- تسبب التآكل بالصدأ فى حالة التشغيل بالوقود الثقيل .
- يقلل الكفاءة الميكانيكية .

وتتحدد كفاءة المبرد بالفرق بين درجة حرارة الهواء الخارج ودرجة حـرارة المياه الداخلة ، وارتفاع درجة حرارة الهواء يعنى اتساخ مواسير المبرد ، أما نقص ضغطه فيعنى انسداد مساره .

٨ – ١ – ١ : شحن المحرك رباعى الأشواط Four-stroke engine supercharging

تزود المحركات رباعية الأشواط بصمامات للحر والعادم ، وروعى فى توقيتها وجـود فترة تداخل over-lap تساعد على عملية الكسح وزيادة تنظيف الاسطوانة .

وبزيادة نسبة تشحين المحرك يهرب جزء أكبر من الشحنة عبر الصمامات ، خاصة عند زيادة فترة التداخل لتبريد صمـامات العادم وباقى أجـزاء غرفة الاحتراق . أنظر شـكل (١ – ١٨) .

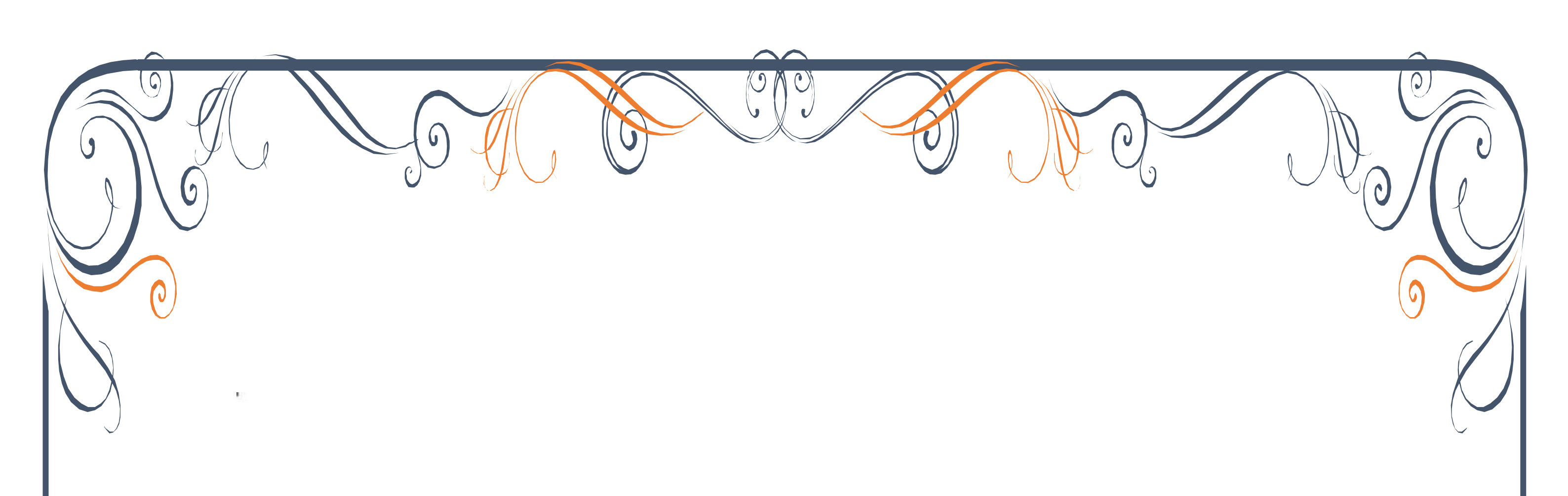
لذا يراعى فى التصميم التوفيق بين هذين الأمرين المتضادين .

وبالشحن الزائد العالى أمكن زيادة قدرة المحرك الرباعى الأشواط بحوالى ٢٠٠% عن قدرته بدون شحن ، وزيادة ض.م.ف. إلى أعلى من ٢٠ بار .

٨ ـ ١ ـ ٢ : شحن المحرك ثنائى الأشواط Two-stroke engine supercharging

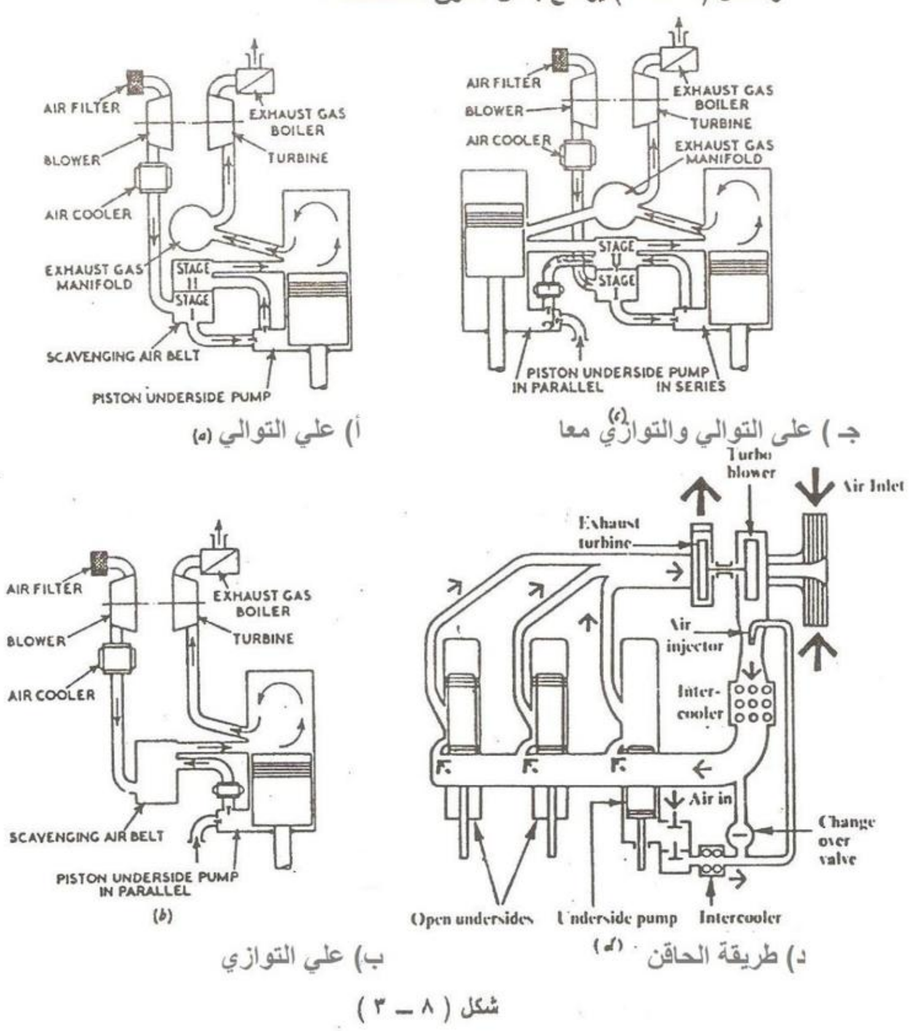
تزود المحركات الثنائية الأشـواط عادة بمضخة كسـح scavenge-pump فهـو يعتبر مشحوناً بطبيعته ، فلو زيد ضغط هواء الكسح ، تصبح كمية الشحنة المفقودة عـن طريق بوابات العادم كبيرة ولو صغرت مساحة مقطع مرور الغازات فى بوابات العادم ، لأثر ذلك على جودة الكسح وبالتالى على جودة المحرك ، لذا يلزم التوفيق بين هذين الأمـرين كذلك .

ولكن شحن المحرك الثنائى له صعوبة أخرى تظهر خاصة عند السـرعات المنخفضة حيث يصبح الشاحن التوربينى غير قادر على تدعيم نفسه Self-supporting بسبب نقصان الطاقة فى غازات العادم الخارجة من المحرك ، ولذا يلزم عمل مساندة له بطريقة أخـرى

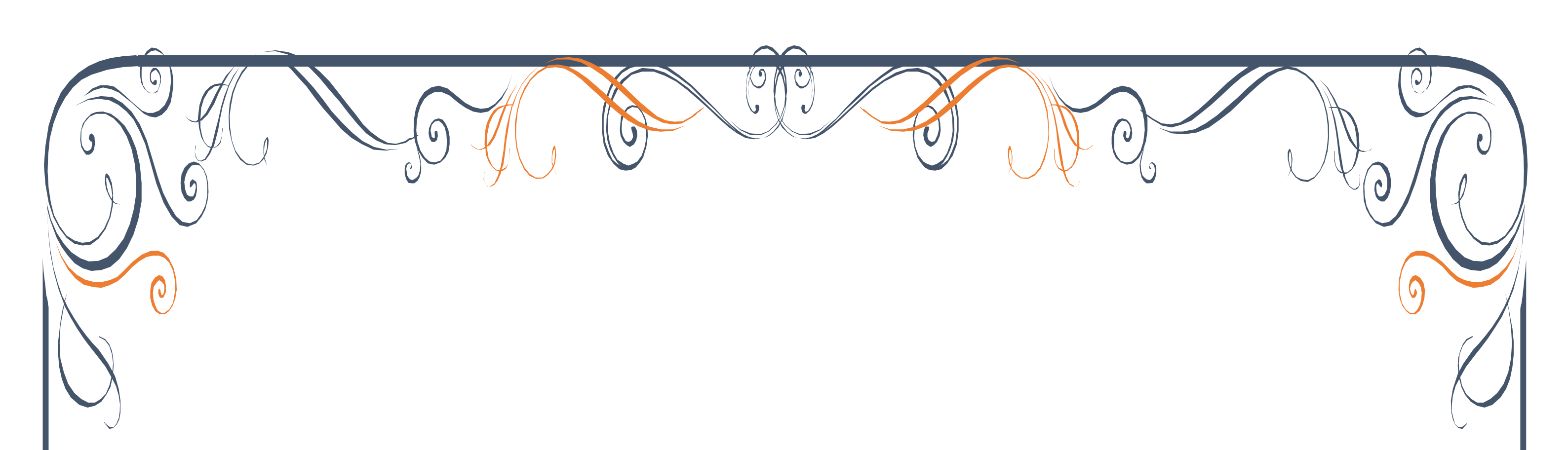


مثل : مضخة متصلة بالمحرك أو جعل أسفل المكبس كمضخة أو استخدام ضاغط مساعد يدور بالكهرباء . ويكون هذا إما على التوازى وإما على التوالى .

والشكل (٨ ــ ٣) يوضح بعض الطرق المستخدمة :



شكل (٨ ــ ٣)



(أ) يوضح الشاحن التوربينى ويعمل على التوالى مع أسفل المكبس .

وتستخدم عادة طريقة أسفل المكبس فى المحركات ثنائية الأشواط ذات الرأس المنزلق بجانب الشاحن التوربينى ، وتتميز بان الفقد فى قدرة المحرك فى هذه الحالة أقل مما لو استخدمت مضخات ترددية متصلة .

(ب) يوضح الشاحن التوربينى ويعمل على التوازى مع أسفل المكبس فتزيد كمية الهواء بدون زيادة فى الضغط .

(جـ) يوضح الشاحن التوربينى ويعمل على التوازى مع أسفل مكبس إحدى الاسطوانات ويعمل كذلك على التوالى مع أسفل مكبس اسطوانة أخرى .

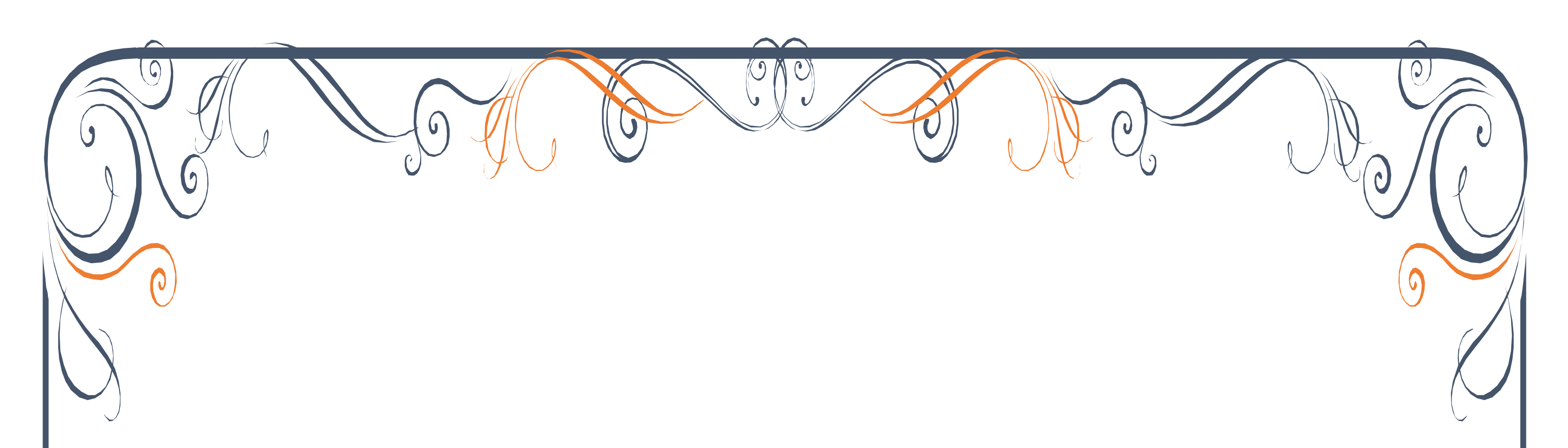
(د) يوضح طريقة الحاقن injector system

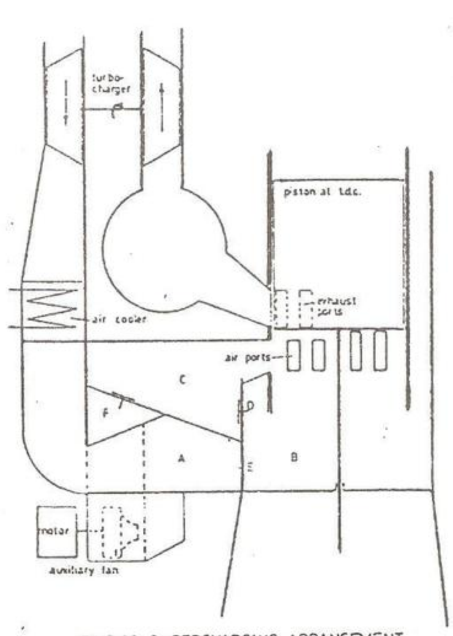
واستخدمت هذه الطريقة فى محركات M.A.N. طراز KZ وذلك للتغلب على مشكلة عدم الكفاءة أثناء بدء الحركة والمناورات . عندما يعمل المحرك على أقل من نصف الحمل ، يدخل الهواء المضغوط من أسفل المكبس إلى الحاقن عن طريق صمام تحكم يعمل آلياً تبعاً لقيمة ضغط هواء الشحن ، ويمر الهواء المضغوط بسرعة عالية خلال فوهة الحاقن فيحدث تفريغ فى الاختناق يساعد على إمداد الهواء ويمنع حدوث الصراخ surging للضاغط .

وعند التشغيل العادى (الحمل بالكامل) يغير صمام التحكم الطريق ويمر الهواء المضغوط من أسفل المكبس إلى مجمع الهواء مباشرة ، أى أن الشاحن التوربينى يعمل على التوازى مع أسفل المكبس .

والشكل (٨ ـ ٣ هـ) يوضح استخدام ضاغط مساعد (يعمل بمحرك كهربى) على التوازى مع أسفل المكبس فقط عند الأحمال الجزئية ، وهذا يضمن الاحتراق الكامل والتشغيل السليم فى المراحل الانتقالية ، أما عند الأحمال الكاملة فيعمل الشاحن التوربينى مع أسفل المكبس على التوالى .

وهذه الطريقة مستخدمة فى محركات Sulzer R.N.D. ويتبع العادم (خروج) نظام الضغط الثابت الذى سيشرح بالتفصيل فيما بعد .





RND 90 SUPERCHARGING ARRANGEMENT

شكل (٨ ــ ٣ هـ)

٨ ـ ٢ مزايا الشحن الزائد

Advantages of turbo-charging

١. يعطى قدرة أكبر لمحرك له نفس السرعة والحجم .

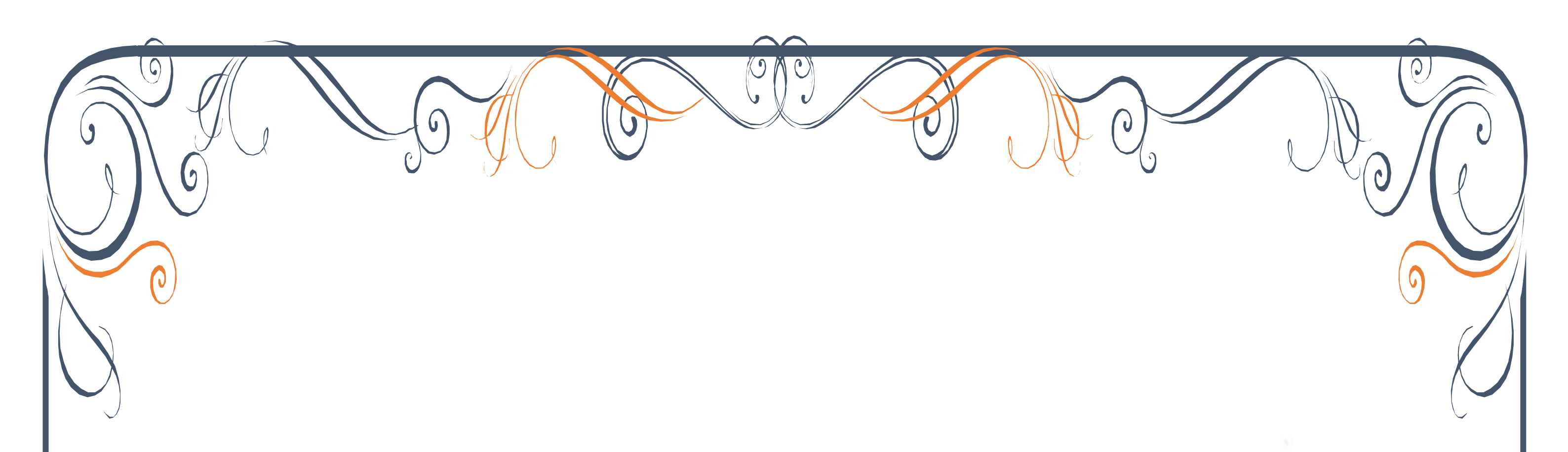
٢. يقلل حجم ووزن المحرك الذى له قدرة معينة .

٣. يحسن الجودة الميكانيكية ويقلل الاستهلاك النوعى للوقود .

٤. يقلل من سعر وحدة القدرة المعطاة نظراً لزيادة الكفاءة الحرارية .

٥. يساعد على زيادة تبريد أجزاء غرفة الاحتراق وبالتالي يزيد من قوة التحمل .

٦. بالحصول على وحدات ديزل ذات قدرات عالية ، أمكن الإحلال محل الوحـدات البخارية .



٨ ـ ٢ طرق نقل غازات العادم إلى الشاحن التوربينى

Methods of transmitting exhaust to turbine

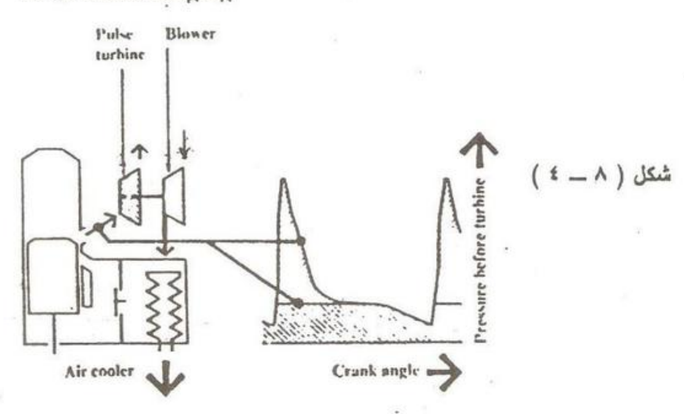
يمكن نقل العادم إلى الشاحن التوربينى للاستفادة من طاقته بإحدى الطرق الآتية :

أ ــ نظام الدفع	Pulse-system
ب ــ نظام الضغط الثابت	Constant-pressure system
جـ ــ نظام تحويل الدفع	Pulse converter
د ــ ملطف تحويل الدفع	Modular pulse converter

٨ ــ ٣ ــ ١ نظام الدفع Pulse system

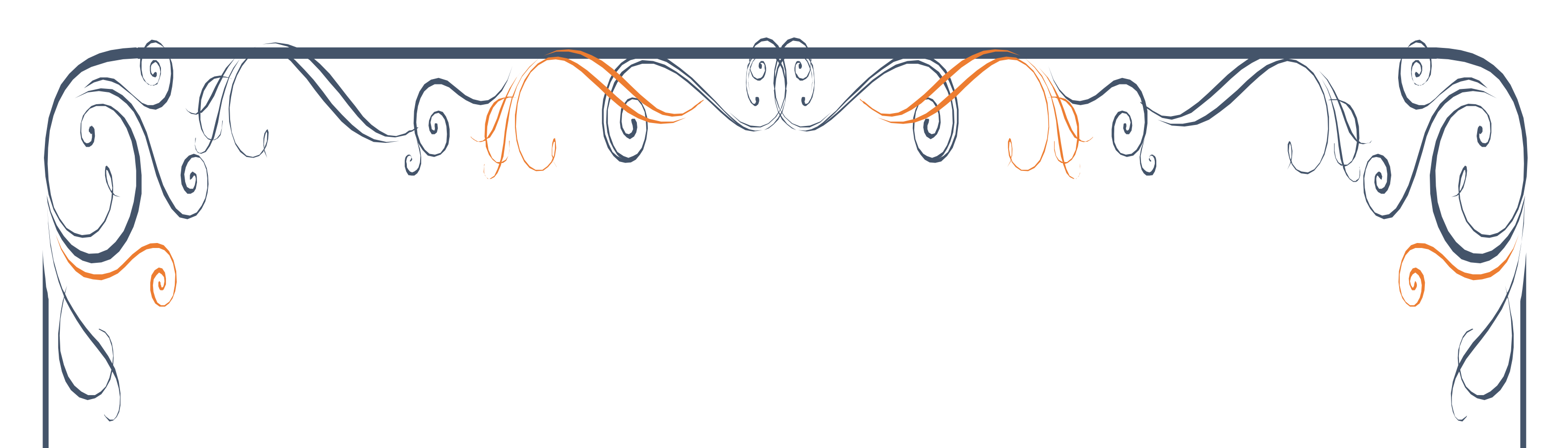
يوضح الشكل (٨ ــ ٤) هذا النظام ، وفيه تتوجه غازات العادم من كل اسطوانة إلى التوربينة مباشرة ، ويستفاد من الموجات التضاغطية لغازات العادم فى الحصول على ضغط شحن كبير خاصة فى حالة الأحمال الجزئية . ويمكن القول (نظرياً) بأنه يكتفى بالشاحن التوربينى بدون مساعدة أو مساندة من وسيلة أخرى فى بعض المحركات التى تستخدم فيها نظام الدفع ، ولكن عمليا تستعمل الوسائل المساعدة للحصول على أفضل حالات التشغيل .

وبالرغم من استخدام هذا النظام فى معظم المحركات المتوسطة السرعة والسريعة ، إلا أنه فى التطورات الأخيرة اتبع نظام الضغط الثابت نظراً لبساطة مجموعة مواسير العادم وترتيب الشواحن .



شكل (٨ ــ ٤)





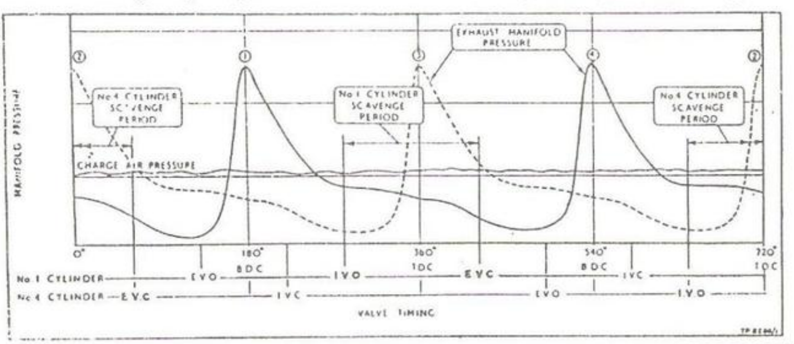
وللحصول على أعلى طاقة من غازات العادم روعى أن تكون مواسير العادم ضيقة وقصيرة وبدون انحناءات . وتمر غازات العادم إلى فوانى التربينة على هيئة نبضات Pulses متقطعة أو موجات تضاغطية فتكسب الطارة الحركة الدورانية .

ويجب أن تصمم منظومة العادم Exhaust-system بنظام معين حتى لا تندفع غازات عادم اسطوانة معينه بضغط أعلى إلى اسطوانة أخرى أثناء فترة شحنها .

عندما يفتح صمام العادم (أو البوابات) ينتج عن ذلك موجات تضاغطية ذات سرعة عالية ويتولد عنها ارتفاع فى ضغط الغازات يليه انخفاض يستمر حتى يفتح الصمام مرة أخرى وهكذا . وفى أثناء فترة التداخل Overlap يجب ان يكون ضغط العادم أقل من ضغط هواء الشحن .

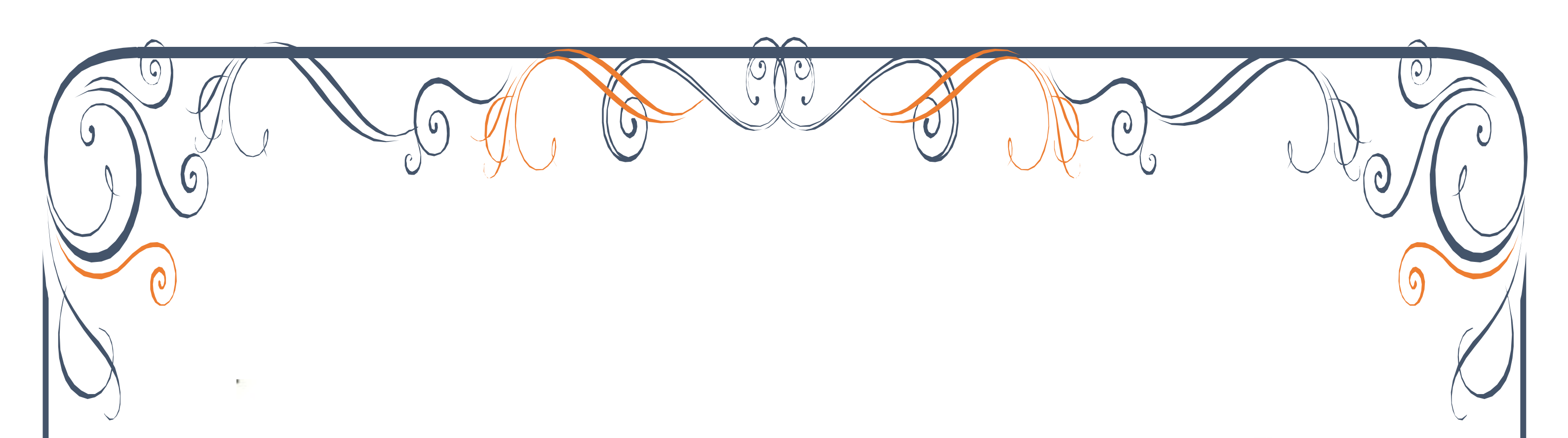
وقد وجد علمياً أنه يمكن أن يحدث تداخل بين تشحين اسطوانة معينة وعادم الاسطوانة التى تليها إذا قلت الفترة بين عادم اسطوانتين متعاقبتين عن ٢٤٠° فى ماسورة مشتركة فى حالة المحركات الرباعية الأشواط . وهذا يعنى أنه فى حالة المحرك متعدد الاسطوانات والتى تزيد عن ثلاثة ، يجب أن يزود بأكثر من شاحن توربينى أو يكون للشاحن أكثر من مدخل .

والشكل (٨ ــ ٥) يوضح منحنى نموذجى للضغط فى منظومة عادم محرك رباعى الأشواط ، وتبين القمم المنقطة لعادم الاسطوانتين (٣ ، ٢) كيفية تداخلها مع فترات الكسح للاسطوانتين (١ ، ٤) إذا لم تنفصل الماسورتين . وترتيب الإحتراق 1-3-4-2



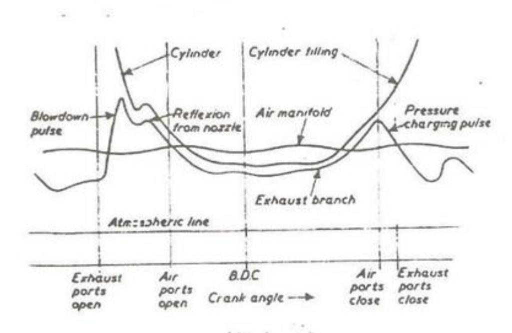
TYPICAL DIAGRAM OF EXHAUST MANIFOLD PRESSURES IN A TURBO PRESSURE-CHARGED ENGINE.

شكل (٨ ــ ٥)



ويوضح المنحنى كذلك أنه بعد فتح صمام العادم وارتفاع ضغطه ينخفض إلى ما هو أدنى من ضغط هواء الشحن قبل فتح صمام الحر .

والشكل (٨ ـ ٦) يوضح تغيير الضغط داخل اسطوانة محرك ثنائى الأشواط ويظهر ارتفاع الضغط بالنسبة للعادم ، تفتح بوابة الشحن فقط عندما يكون الضغط داخل الاسطوانة والضغط فى مجموعة الهواء أكبر من الضغط فى ماسورة العادم .



شكل (٨ ـ ٦)

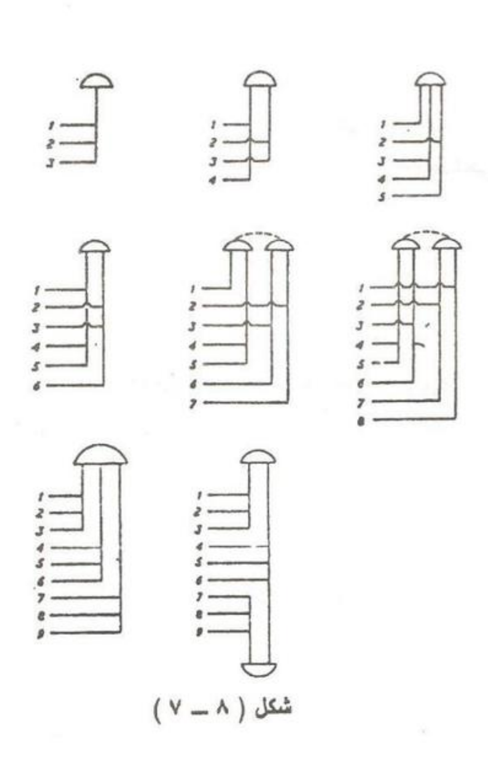
والشكل (٨ ـ ٧) يوضح بعض الترتيبات الشائعة لمواسير العادم للمحركات رباعية الأشواط ومشحونة جبرياً .

ودائماً ما يوضع فى الاعتبار تقسيم العادم حتى يتيسر أن تكون الشواحن من نفس الحجم .

وعادة تزود توربينة الشاحن بأكثر من مدخل أى أنه مثلاً فى حالة المحرك ذات الستة اسطوانات ، تتجمع كل ثلاثة فى ماسورة ويكون للتربينة حينئذ مدخلين . وإذا زاد عدد الاسطوانات عن ذلك ، يكون هناك أكثر من اختيار ويعتمد التفضيل فى ذلك على الحصول على أحسن نتائج بعد دراسة جميع النقاط التالية :

ترتيب الاحتراق لتوفير اتزان المحرك ، وعزم دوران ليكون متساو ، والظروف فى مجمعات العادم لتناسب الشواحن .





شكل (٨ ــ ٧)

٨ ــ ٣ ــ ٢ : نظام الضغط الثابت Constant-pressure system

يوضح الشكل (٨ ــ ٨) هذا النظام وفيه تتوجه غازات العادم من كل اسطوانة إلى مجمع مشترك ذات قطر كبير ، بحيث لا يظهر أى تغيير فى الضغط ، وتخمد فيه نبضات العادم ، ويتصل به شاحنين أو أكثر ويتميز بالآتى :

١ ــ المزايا : نظراً لثبوت الضغط ودرجة حرارة العادم عند دخوله التوربينه :

١. يعمل الشاحن التوربينى بأقصى كفاءة له
٢. لا حاجة لتجميع عادم كل ثلاثة اسطوانات ، ولذا يعتبر هذا النظام أكثر مناسبة للمحركات ذات القدرات العالية .
٣. وبالإضافة فإنه يعطى مرونة أكثر فى تحديد أماكن الشواحن التوربينية .

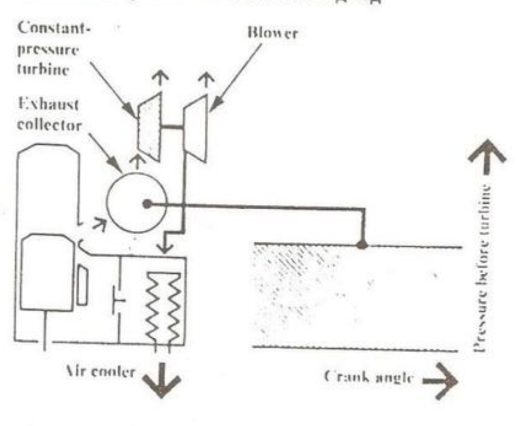


٢ ــ العيوب : ولكن من أهم عيوبه :

١. عند التشغيل على السرعات المنخفضة وخاصة بدء التقويم ، تكون الطاقة الموجودة فى غازات العادم عند مدخل التوربينة غير كافية لإدارتها بالسرعة الكافية ، التى تمكن من الحصول على كمية هواء شحن بضغط كافى للكسح الكفء والاحتراق الجيد .

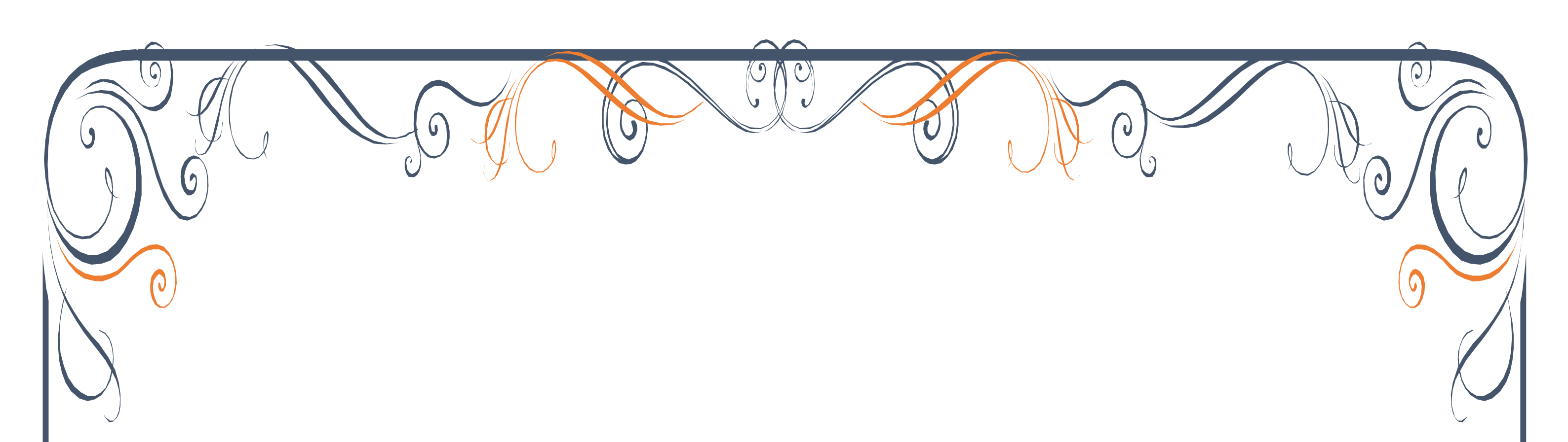
٢. المنظومة غير حساسة عند تغيير سرعة المحرك فيحدث تأخير فى استجابة الشاحن ، وعليه يكون الحريق ردئ فى حالة الانتقال من سرعة لأخرى كذلك عند السرعات المنخفضة .

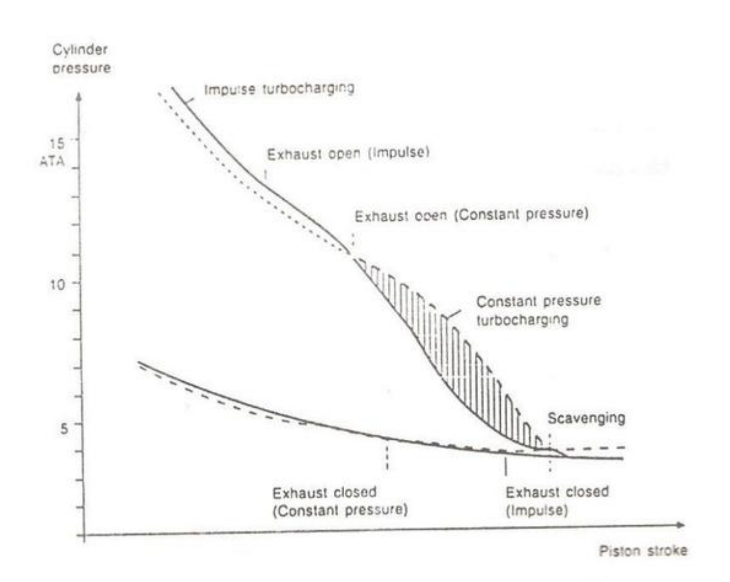
ولذا يلزم وجود مصدر إضافي أو مساعدة بوسيلة أخرى وقد سبق شرح ذلك فى (٨ ــ ١ ــ ٢) .



شكل (٨ ــ ٨)

ولغاية عام ١٩٧٨ كانت جميع محركات الديزل B&W تعمل بنظام الدفع ولكن أخيراً أورت الأبحاث بأن طريقة خروج العادم بنظام الضغط الثابت سوف يوفر ٥ % فى المعدل النوعى لاستهلاك الوقود، وعليه تم التحويل إليه ، ويتأتى ذلك بتأخير فتح العادم كما يتضح من الشكل (٨ ــ ٩) حيث يزيد مشوار التمدد وتتحسن الكفاءة الحرارية .





Working diagrams for impulse and constant pressure turbocharging

شكل (٨ ــ ٩)

٨ ــ ٣ ــ ٣ :نظام تحويل الدفع : Pulse-converter

لتحسين أداء المحركات التى تعانى من انخفاض كفاءة تربينة الشاحن التوربينى فى حالة نظام الدفع . نظراً للفقد الكبير نتيجة انحراف غازات العادم أثناء دخولها ، فكانت المحاولة هى الاحتفاظ بمزايا نظام الدفع ــ أى الاحتفاظ بالطاقة الملازمة لغازات العادم وهى خارجة ــ مع السريان الثابت وبأعلى كفاءة إلى التوربينة . وعليه تم بمهارة تصميم وصلة تجمع فرعين إلى مدخل واحد لتوربينة ، وكل يتكون من ماسورتين بمقطع متغير خارجتين من الوحدتين كما يتضح فى الشكل (٨ ــ ١٠) والذى يبين هذا النظام فى أبسط صوره بالنسبة لمحرك مكون من أربعة اسطوانات .

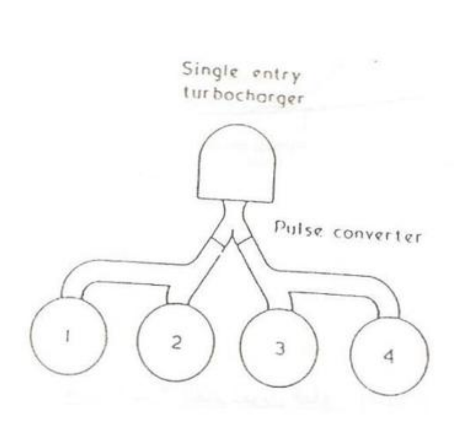
وبذلك تم تجنب التقطع بين النبضة والتالية لها ، وتقليل ضغط النبضة ــ أى تجنب دخول عادم اسطوانة إلى اسطوانة أخرى أثناء فترة شحنها ــ مع الحصول على سريان ثابت وكفء . وقد تحقق ذلك بتحويل الضغط إلى سرعة .

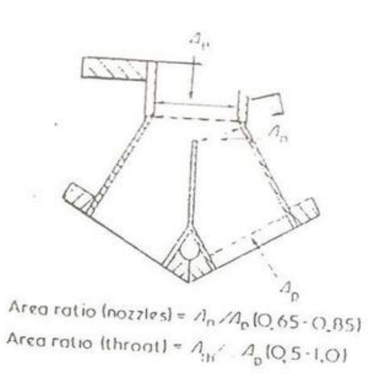


وعليه تلاشت عيوب نظام الدفع وظهرت المزايا التالية :

- تحسن استقبال التربينة لغازات العادم ، فزادت الكفاءة .
- قل التحميل على ريش التربينة والتى كانت تعانى منه فى نظام الدفع .

وقد استخدمت محولات الدفع هذه فى العديد من محركات الديزل المتوسطة السرعة ، وخاصة التى تتكون من أربعة اسطوانات أو ثمانية .





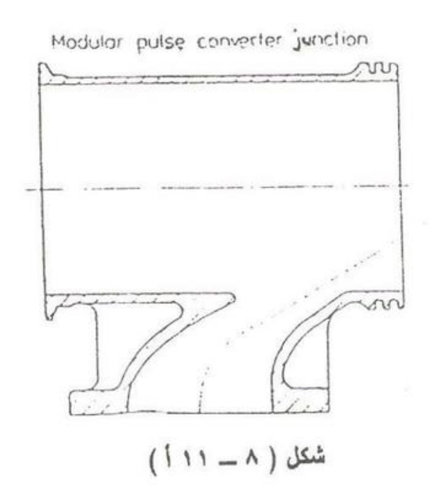
شكل (٨ ــ ١٠)

٨ ــ ٣ ــ ٤ ملطف تحويل الدفع Modular pulse-converter

وقد استخدمت شركة ' بيلستك ' " Pielstick " هذا الفكر وربطته بنظام الضغط الثابت ، وأطلق عليه نظام ' ملطف تحويل الدفع ' .

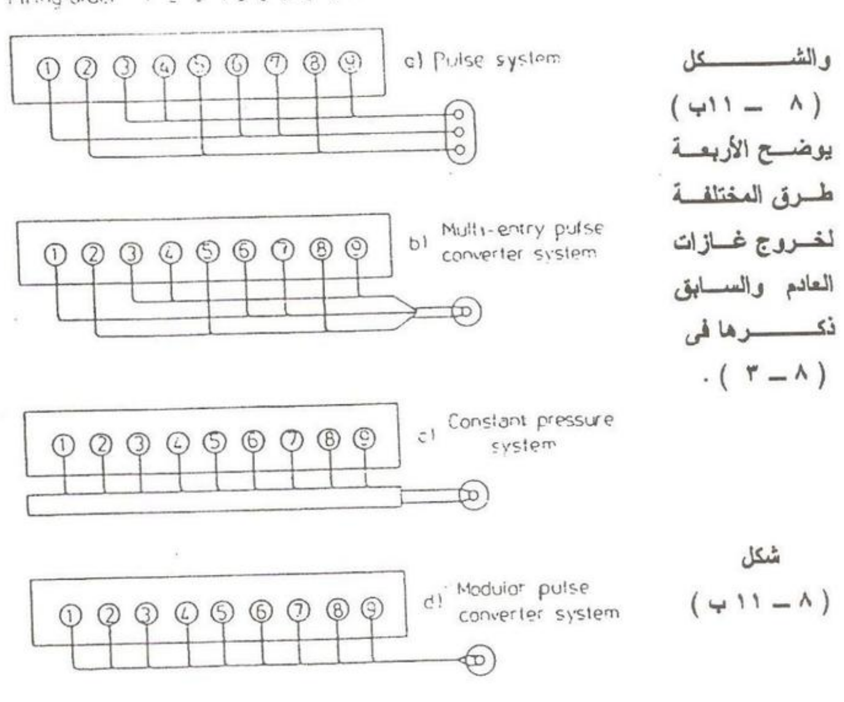
يتصل خارج العادم من كل وحدة بمجمع للعادم ــ ذو قطر صغير ــ وعن طريق الوصلة المشار إليها سابقاً فى Pulse-converter ، وبذلك تتحول طاقة الدفع من عادم كل وحدة إلى طاقة حركة . ويؤدى عدد الوحدات الكبير والمتصلة بماسورة العادم إلى تساوى الضغط والسريان إلى التربينة ، انظر شكل (٨ ــ ١١ أ) .






شكل (٨ ــ ١١ أ)

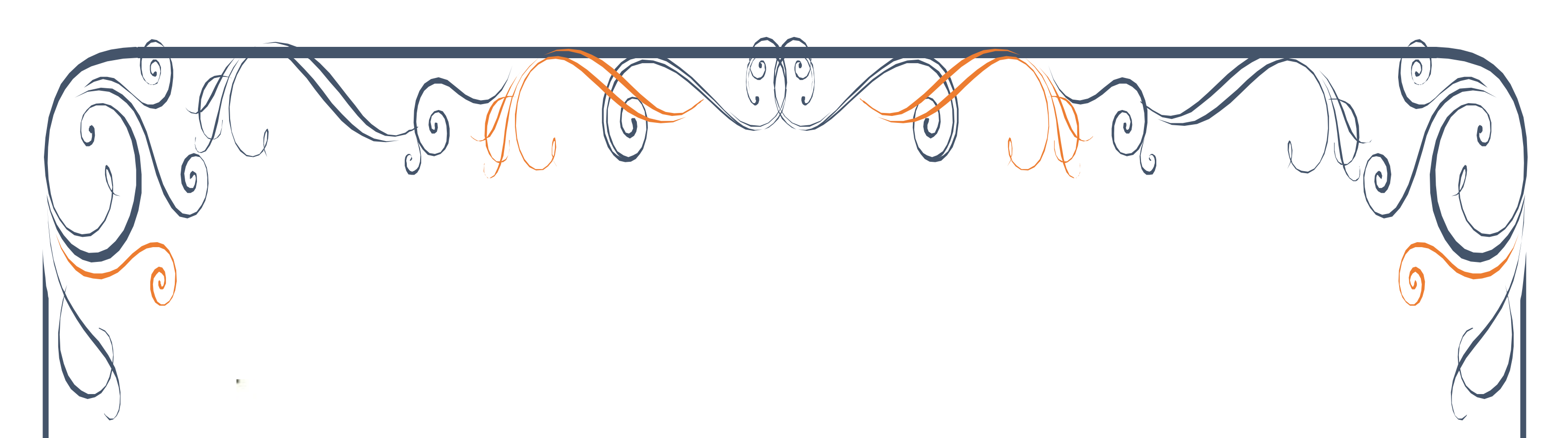
وتعد هذه الطريقة قريبة لنظـام الضغط الثابت التقليدى ، ولكن يتميز عنه بالاستفادة بمزايا نظامى الـدفع والضغط الثابـت بـدون الاحتيـاج لمجمع العادم الضخم ، وقد ثبت أن هذا يؤدى إلى تقليل معدل اسـتهلاك الوقود بـ ــ ٤ جم / حصان . ساعة .



والشـــكل (٨ ــ ١١ب) يوضـح الأربعـة طـرق المختلفـة لخـروج غـازات العادم والسـابق ذكـرها فى (٨ ــ ٣) .

شكل (٨ ــ ١١ ب)

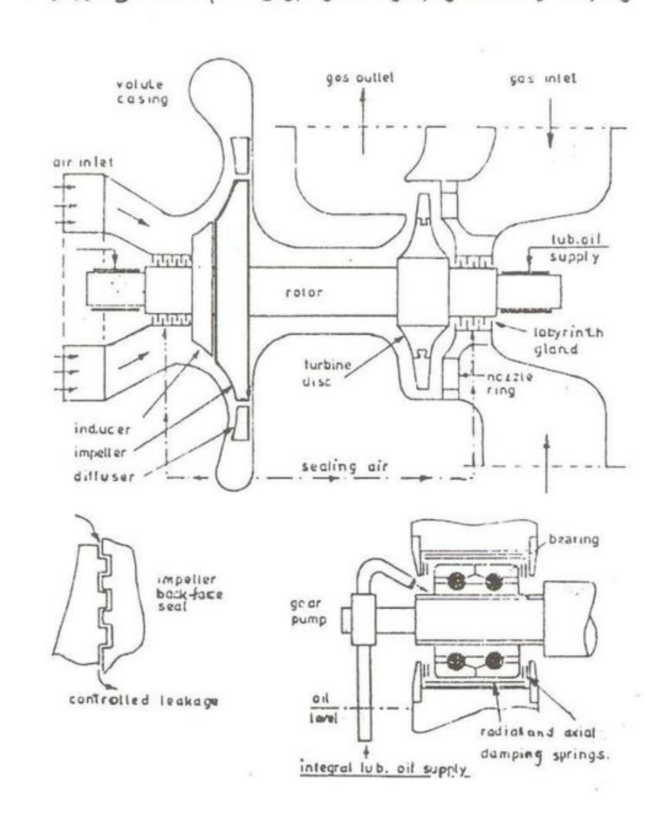




٨ ـ ٤ الشاحن التربينى Turbo-charger

حيث أن غازات العادم تخرج من المحرك بطاقة كبيرة ، لذا يمكن استغلالها فـى إدارة تربينة شاحن يدير بدوره ضاغط بالطرد المركزى ليرفع ضغط شحنة الهواء للاسطوانة .

وقد بدأ تنفيذ هذه الفكرة بمعرفة مستر " بوش " عام ١٩٣١ فى سويسرا .

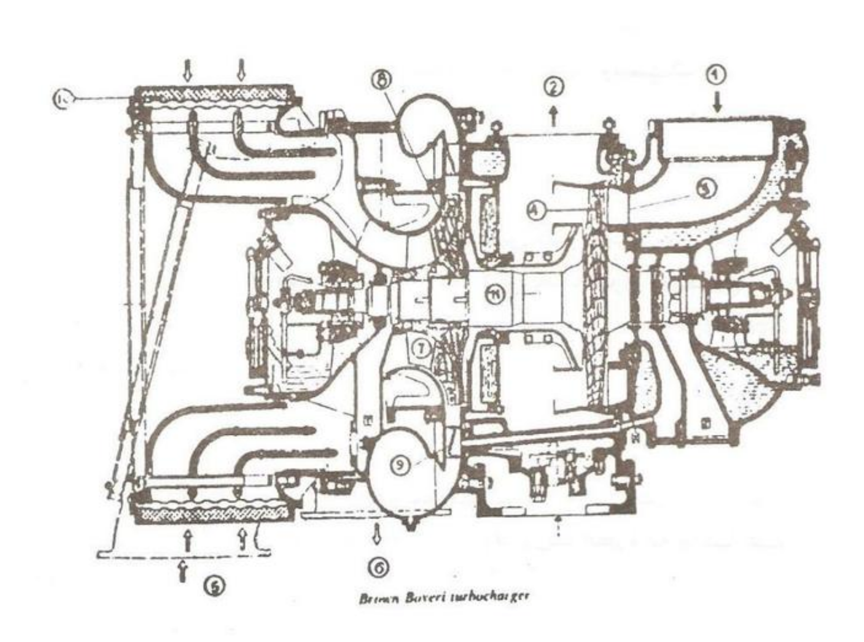


شكل (٨ ـ ١٢ أ)

والشكل (٨ ـ ١٢ أ) يوضح رسم تخطيطى لشاحن توربينى ، ويتكون أساساً من تربينة ذات مرحله واحدة تعمل بغازات العادم ، وتعطى الحركة لضاغط هواء ذات مرحلة واحـدة





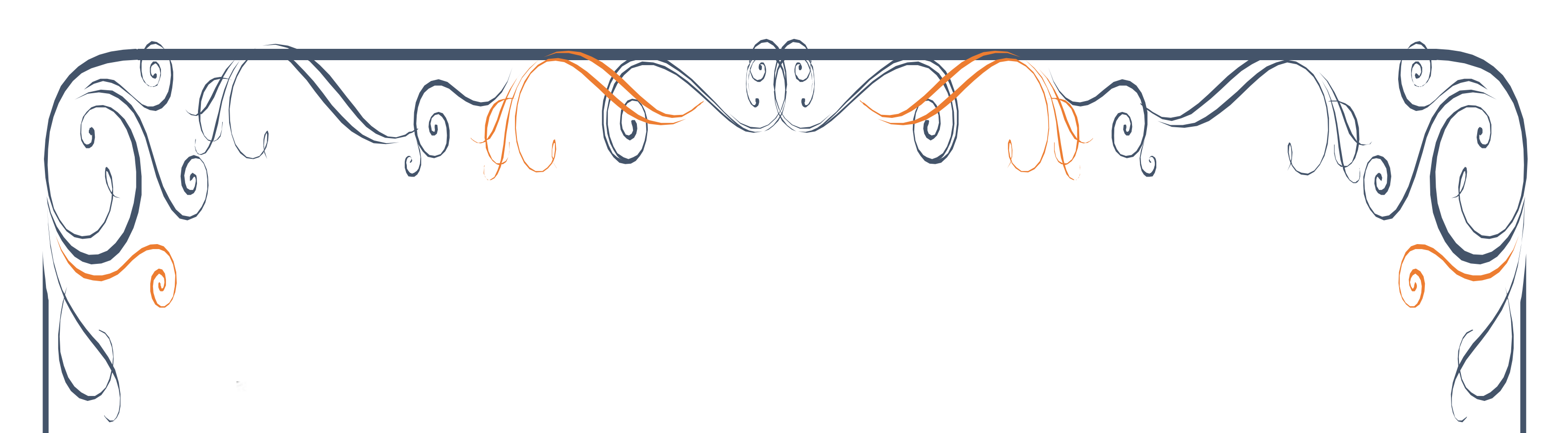


مقطع رأسي في الشاحن

1- EXHAUST INLET
2- EXHAUST OUTLET
3- NOZZLES
4- TURBINE BLADES
5- AIR INLET
6- AIR OUTLET
7- INDUCER
8- COMPRESSOR BLADES
9- DIFFUSER
10-FILTER
11-ROTOR

شكل (٨ – ١٢ ب)





يعمل بالطرد المركزى بواسطة عمود دوار مشترك ، وبذلك يكون وحدة مستقلة بذاتها .

تمدد غازات العادم بالفوهات Nozzles بسبب زيادة سرعتها حيث تدفع أمامها ريش التربينه ، وتتكون التربينه من هيكل مصنوع من حديد الزهر ويبرد بالماء ، ويحتوى على الفوهات ومبيت لقرص التربينه Impeller والمثبت عليه الريش ، وتصنع الريش من سبائك صلب النيكل كروم المقاوم للحرارة العالية (٤٥٠° م) .

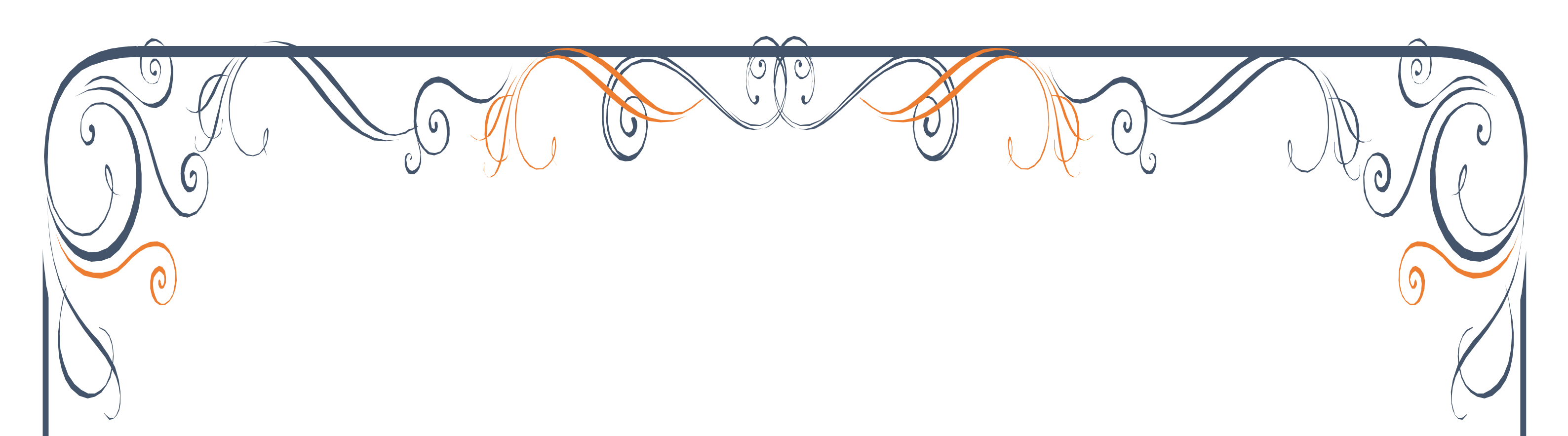
أما الضاغط فيحتوى على الهيكل القوقعى Volute casing والذى يشتمل على المستقبل Inducer والمروحه Impeller والناشر Diffuser ، وتصنع جميعها من سبائك الألمونيوم ، وعمل المستقبل هو توجيه الهواء (عن طريق الفلتر) إلى فتحة المروحة حيث يكتسب السرعة ويندفع بقوة إلى الخارج ، وفى اتجاه نصف قطرى . ويخرج من المروحه إلى الناشر ، حيث تتحول طاقة الحركة K.E إلى طاقة وضع Pressure energy كما أنه يقوم بتوجيه الهواء إلى الهيكل الحلزونى والذى يقوم هو الآخر بتقليل السرعة وزيادة ضغط الهواء ، ثم يتوجه الهواء إلى المجمع بعد مروره إلى المبرد Cooler لزيادة كثافته .

تبرد التربينه بالمياه الخارجة من تبريد الاسطوانات كما يتضح فى الشكل (٨– ١٢ب)، ويوجد على حوارى التبريد أصابع زنك لمنع التآكل . وقد أوردت الخبرة أنه أيضاً عند الأحمال المنخفضة تقل درجة حرارة العادم ، وقد يتكون حامض الكبريتيك الذى يتفاعل مع معدن الهيكل ويسبب تآكله – ويتوقف ذلك على نسبة الكبريت فى الوقود ، ولذا يستخدم دهانات من البلاستيك لتغطية السطح الداخلى للتربينه .

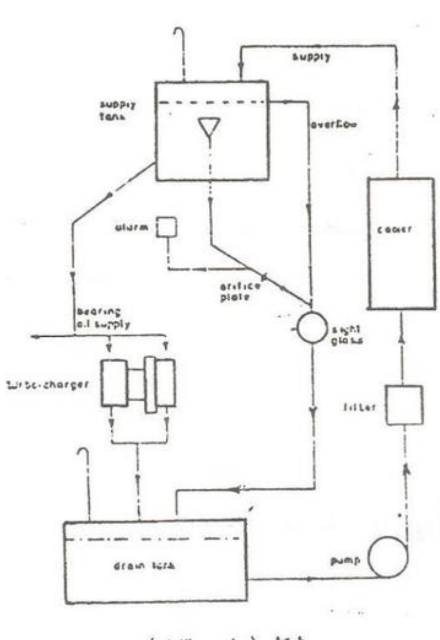
ويوجد محملين فى نهايتى العمود ، وهى إما كرويه Ball bearing أو منبسطة Plain bearing ، ويتم تزييت المحامل الكروية عادة بواسطة مضختين ترسيتين على العمود ، وتسحبان الزيت من وعاءين مستقلين بهما كما هو واضح بالشكل (٨–١٢) .

ولمنع تسرب العادم للزيت وحماية المحامل ، يزود العمود بجلندات حاكمة لابيرنثى Labyrinth gland وتزود كفاءتها بتأثير نزيف هوائى Air seal مأخوذ من طرد الضاغط وهى عادة ترتكز على مبايت خامدة للذبذبات .

وقد تستخدم طرق أخرى للتزييت – فى حالة المحامل المنبسطة – وهى إما وصلة من منظومة تزييت المحرك خلال فلتر ناعم أو بواسطة منظومة مستقلة كما يتضح من الشكل



(٨ ــ ١٣) . ويجب أن يكون التزييت بكفاءة عالية ليضمن وصول الزيت فى حالة حدوث ميل يصل إلى ١٥° وذلك نظراً للسرعات العالية التى تعمل عليها الشواحن وقد تزيد عن ١٠٠٠٠ لفة / دقيقة .



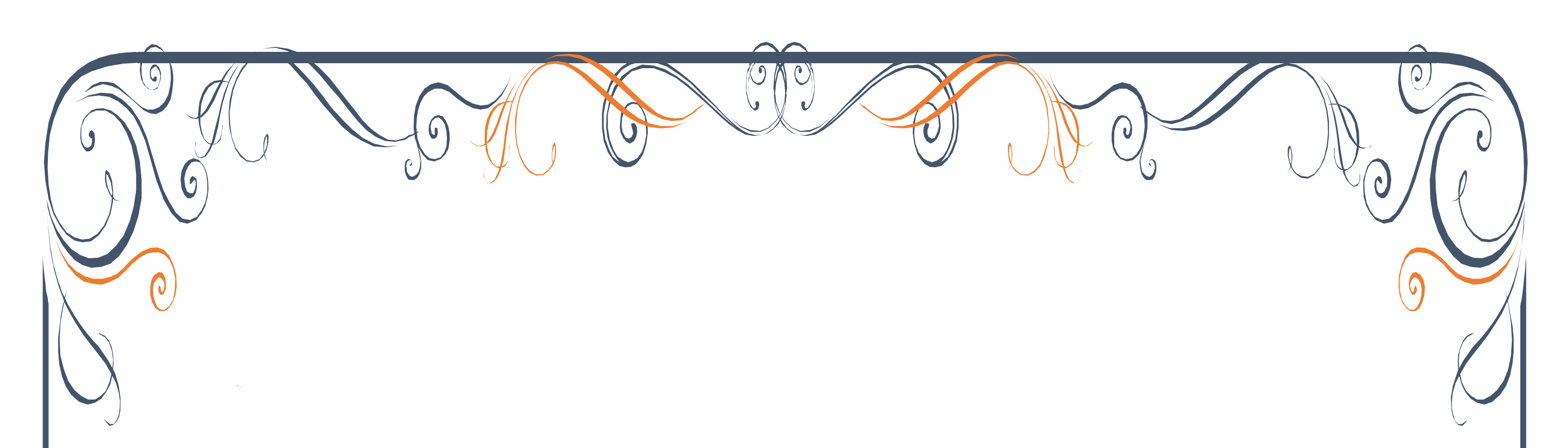
شكل (٨ ــ ١٣)

٨ــ ٤ ــ ١ أنواع محامل الشواحن التربينيه

وهى إما كروية Ball-bearing أو دحروجيه Roller أو منبسطة Plain-bearing

أ ــ الكروية : وهى المفضلة بالنسبة لشركة " Broun-Boveri " وتتميز بصغر مقاومة الحركة عند بدء التشغيل ، وهذا يعتبر أمر هام عند السرعات البطيئة ، حيث أن غازات العادم تكون غير كافية ، ولكن توجد بعض العيوب مثل :

١. تتعرض بشدة للذبذبة والكلل ، سواء عند التشغيل أو عند التوقف ، ولذا يجب وضعها فى مبايت مرنه Radial and axial damping springs لامتصاص الذبذبات طولياً وقطرياً .



٢. لهـــا عمر افتراضى ، وعليـــه يجب تغييرهـــا بعد عـــدد ســـــاعات معين (١٦٠٠٠ ساعه) .

ب ــ المنبسطة Plain-bearing وهى المفضلة بالنسبة لشركة .M.A.N ويمكـن إيجــاز مزاياها فى :

١. عدد ساعات التشغيل قد يصل إلى ٢٠٠٠٠ ساعة دون أعمال صيانة .
٢. إمكانية التزييت من منظومة زيت المحرك وبنفس الزيت .
٣. لا تتأثر بعدم اتزان العمود نتيجة تراكم الكربون .
٤. غير حساسة للذبذبات فلا تحتاج لمبايت مرنة .
٥. سهولة الحصول على استقامة العمود .

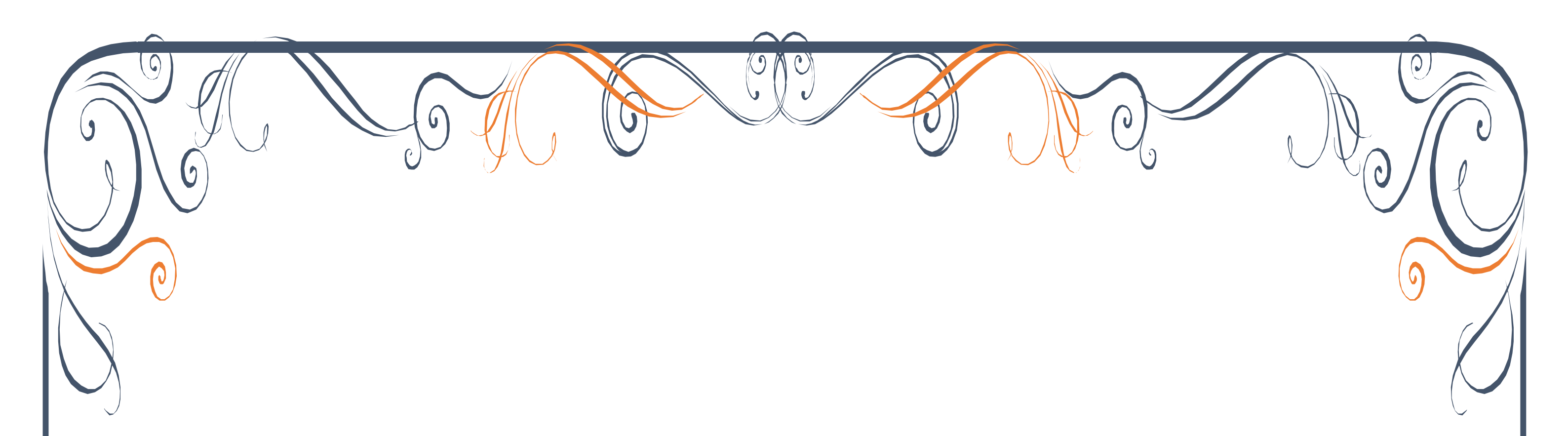
ملحوظـــــة :

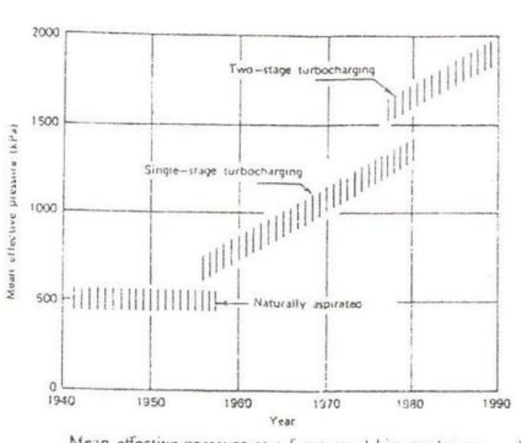
وبالرغم من هذا فلم يتوقف الصانع عند ذلك ، بل قام حديثاً بتطـوير المحامــل بعمــل الآتى:

ـ جعل عمود الشاحن على لقم عائمة ، أى أن اللقم لا يتم تثبيتها تماماً فى المبيت ، بل يكون لها خلوص معين ، حيث أن هذا الخلوص يسمح لها بأن تدور بسرعة قد تصل إلى ٢٥% من سرعة العمود ، وبذلك تتولد طبقة من الزيت بـين العمــود واللقــم وكذلك بين اللقم والمبيت ، أى أن طبقة الزيت تكون مزدوجة ، فتعمل على إخماد أو امتصاص أى ذبذبة ، سواء من خارج الشاحن أو نتيجة عدم اتزان العمود .

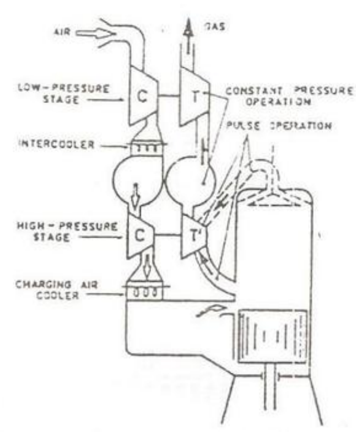
٨ ــ ٤ ــ ٢ الشحن على مرحلتين Two-stage turbo-charging

يمكن توصيل شاحنين على التوالى من ناحيتى الهواء والعادم لرفع ضغط هواء الشاحن عنه فى حالة استخدام شاحن واحد . ويوضع مبرد للهواء بعد كل مرحلة ، ليعمــل علــى تحسين الكفاءة الكلية للانضغاط . والشكل (٨ ــ ١٤) يوضح إحدى هذه المنظومات .





Mean effective pressure as a function of historical time



Arrangement for two-stage turbocharging

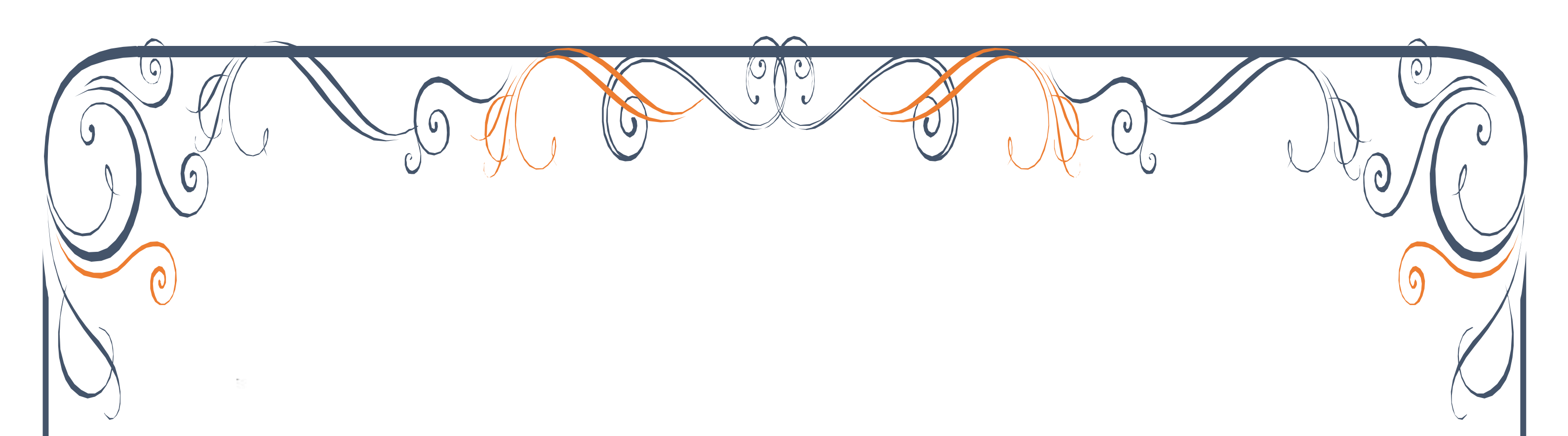
شكل (٨ ــ ١٤)

لقد لوحظ أن كفاءة الضاغط تقل بارتفاع نسبة الانضغاط ، وهى تكون أعلى ما يمكن عادة عند نسبة إنضغاط حوالى ٢ ، فيستخدم ضاغطين فى حالة زيادة نسبة الانضغاط عن ذلك ليعمل كل منهما عند النطاق الأمثل . ولهذا السبب يكون استخدام الشحن على مرحلتين إحدى طرق تحسين القدرة .

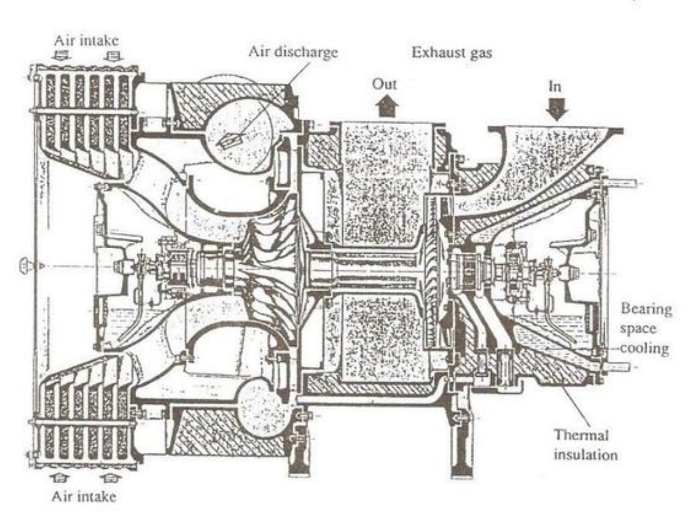
وأعتقد أن السبب فى عدم انتشار هذا التصميم هو أن تطور صناعة الشواحن التربينية سائرة بخطوات وثابة ، من حيث إمكانية رفع نسبة الانضغاط والكفاءة ، مما يجعل من الصعب تحديد الأفضلية بالنسبة للتكلفة الإضافية لثمن الشاحن والمبرد والوصلات ، هذا علاوة على أن الكفاءة المثلى لهذا النظام لا تظهر إلا عند التشغيل على الحمل الكامل ، كما يحدث انخفاض حاد لضغط هواء الكسح عند التشغيل على الحمل الجزئى ، مما يسبب ارتفاع درجة حرارة العادم .

٨ ــ ٤ ــ ٣ الشاحن التربينى الغير مبرد The non-water-cooled turbocharger

يتميز هذا الشاحن التربينى بعدم تبريد جسم التربينه ، ويعنى ذلك عدم فقد أى جزء من طاقة غازات العادم فى مياة التبريد ، بل يمكن استعادتها بكفاءة فى الموفر Economizer وهذا يساعد على تحسين الكفاءة الحرارية عامة لمحطة الديزل Power-plant .



والشكل (٨ ــ ١٥ أ) لمقطع فى شاحن من طراز ABB-VTR4 الغير مبــرد وهــو يتكون من عمود وملحقاته كما هو موجود عادة فى الشاحن التربينى ، ولكن يختلف عنــه بعدم وجود حوارى للتبريد ، بل يوجد عازل لاحتفاظ بحرارة غازات العادم ، وقد أدى عدم وجود مياة التبريد إلى حماية السطح الداخلى للجسم (مسار غازات العادم) من أى تآكــل نتيجة تكوين حامض الكبريتيك ، والتعرض إلى التكلفة الباهظة لتغييره . وقد دلت التجربة الطويلة على عدم تعرض الجسم للشروخ أو ما شابه ذلك . وحيــث أن محامــل التربينــه تحتاج إلى تبريد فيتم عزلها وتبريدها بالماء للحفاظ على درجة حرارة الزيت .

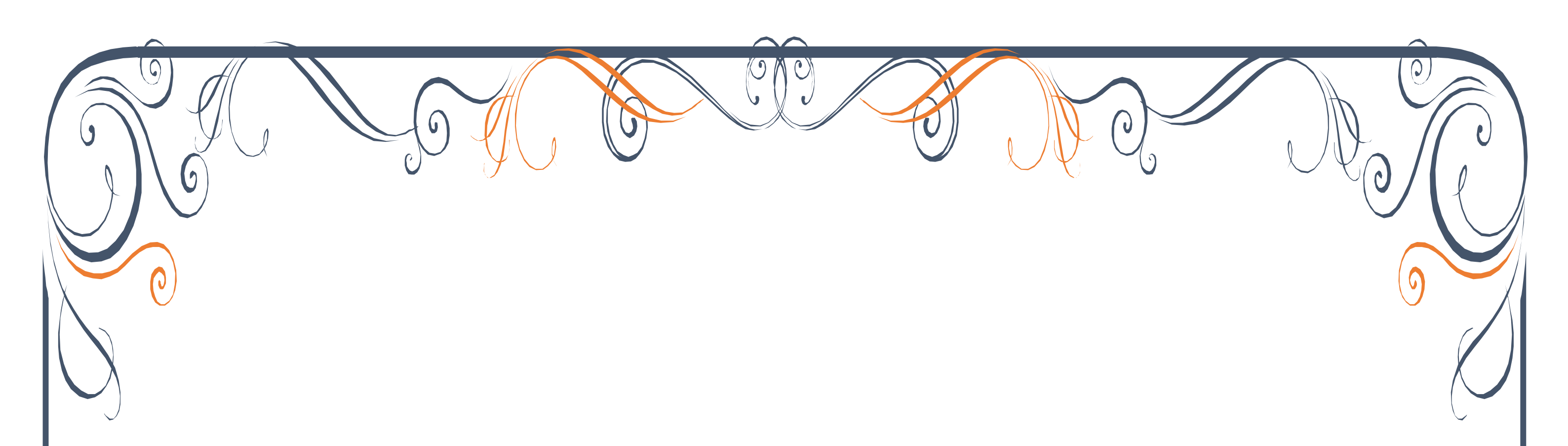


Uncooled turbocharger (Asea Brown Boveri ABB VTR4)

شكل (٨ ــ ١٥) أ

استعادة حرارة غازات العادم : Waste-heat recovery

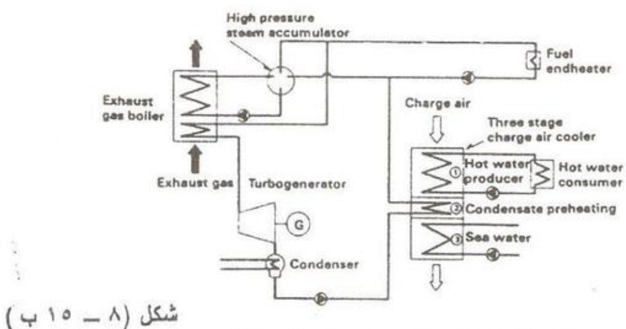
لقد أثبتت الشواحن التربينيه الغير مبرده أهميتها فى توفير الطاقة ، حيث أنها لا تسمح بالفقد الحرارى المصطحب بمياة التبريد ، وعليه فإنها ترفع الكفاءة الحرارية لمحطة الديزل



وقد ثبت أن درجة حرارة العادم الخارجة من التربينه الغير مبرده أعلى بمقـدار مـن ١٠ : ٢٠°م فى حالة المحركات الديزل الثنائية الأشواط ، ومقدار من ٢٠ : ٣٠°م فـى حالة المحركات الديزل الرباعية الأشواط مع الاحتفاظ بنفس درجة حرارة العـادم الداخلـة للتربينه ، وهى تعتبر ذات قيمة فى حالة القدرات الكبيرة ، وعليه يمكن تشغيل الغلاية ورفع الكفاءة الحرارية للمحطة .

فى الشكل (٨ ــ ١٥ ب) تستخدم غازات العادم فى الحصول علـى بخـار محمـص لتشغيل مولد بخارى ، وفى الوقت نفسه يستخدم البخار المشبع فى التسخين على الوقـود والتدفئة ، كما يستخدم خارج تبريد مبرد الشاحن فى تسخين مياه الخدمة العامة . ولـيكن معلوماً أنه يمكن توفير طاقة كهربية تكفى متطلبات السفينة فى البحر من الطاقة الموجودة فى عادم محرك الديزل الذى تزيد قدرته عن ١٣٠٠٠ ك.وات .

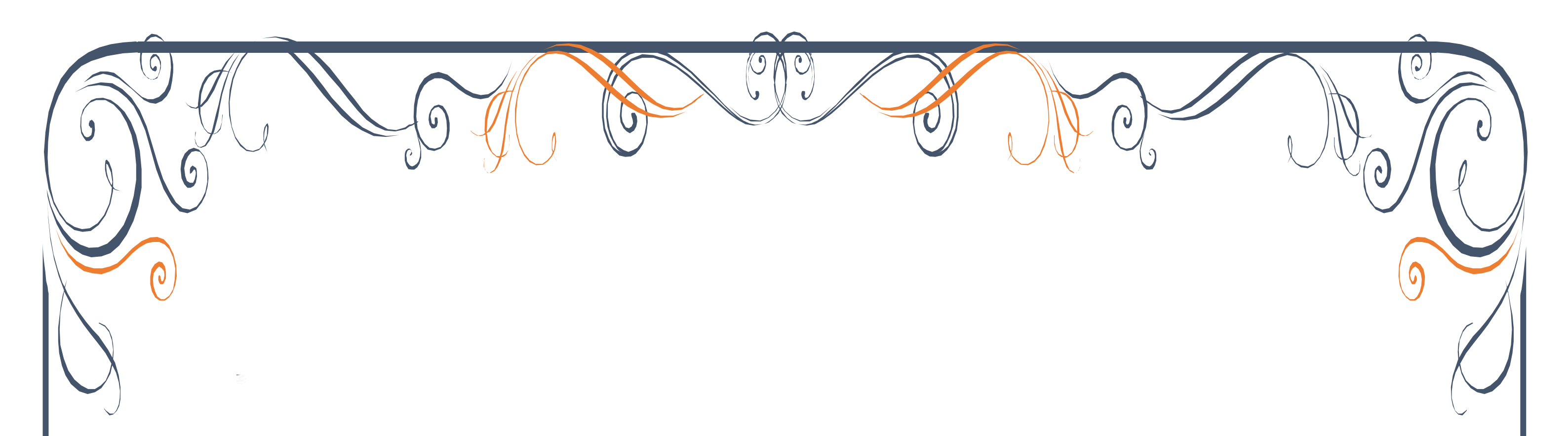
Lay-out of waste heat recovery system



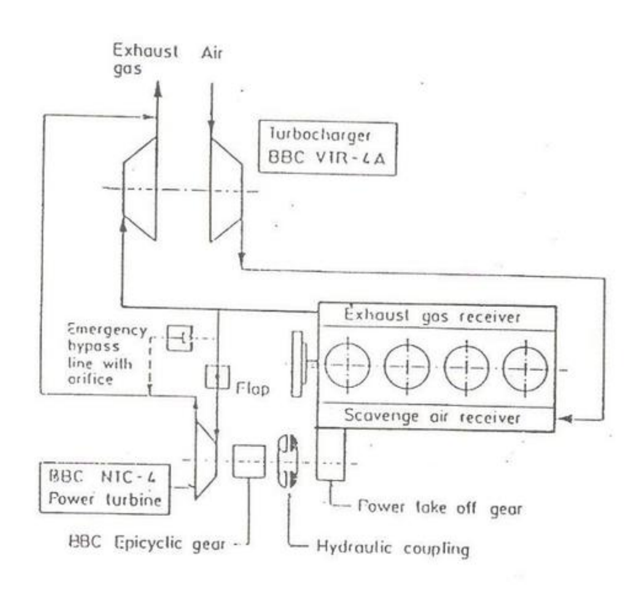
شكل (٨ ــ ١٥ ب)

Turboalternator powered by exhaust gas boiler and 2. stage scavenge air cooler can in general produce total seaload when the engine power is above abt. 17'500 hp.

أما الشكل (٨ ــ ١٥ جـ) فيوضح كيفية الاستفادة من الطاقة الوفيرة فـى غـازات العادم حيث تتولد طاقة ميكانيكية إضافية تغذى مباشرة عمود المرفق عن طريـق تربينـة



القدرة Power-turbine ـ وهذا يؤدى إلى زيادة الكفاءة الكلية ، حيث يعمل المحرك على حمل أقل بينما يتوفر للرفاص القدرة المطلوبة ـ وعليه فقد قل المعدل النوعى لاستهلاك الوقود بمقدار ٥جم / حصان ساعة .



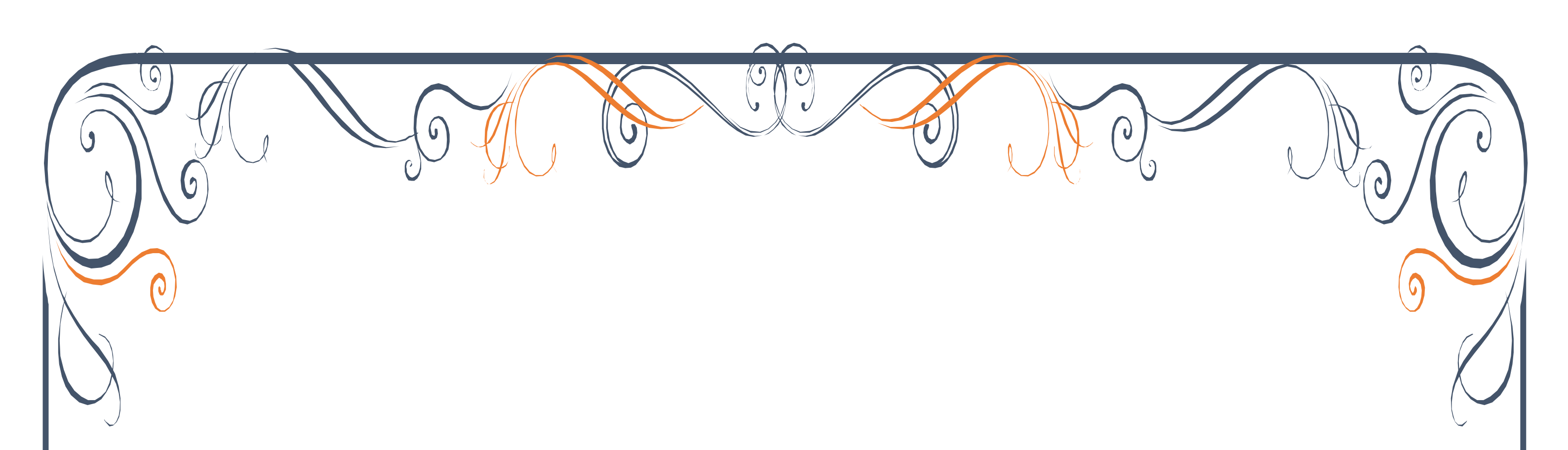
شكل (٨ ـ ١٥ جـ)

٨ ـ ٤ ـ ٤ نظافة الشاحن التربينى أثناء التشغيل

تحت ظروف التشغيل العادية تتعرض الشواحن للاتساخ مما يسبب تقليل الكفاءة وظهور النباح ، وعليه يجب غسيل الشاحن :

أولاً : الغسيل بالماء لجانب الضاغط :

تختلط الأتربة والهباب والملح معاً مكونة رواسب لها القدرة على أن تمر من خلال الفلتر وتلتصق على ريش المروحة فتقل كفاءة الضاغط وقد تسد سكة الهواء



بالمبرد . ويمكن إزالتها بالغسيل بنافورة مياه ، ودائماً ما تحقن عند الحمل الكامل والمحرك ساخن .

ويتم الغسيل بحقن كمية معينة من الماء لمدة حوالى ٤ : ١٠ ثوانى ، وبعدها يلاحظ التحسن المحسوس بارتفاع ضغط الهواء وذلك لأن وجود الطبقة الرقيقة من هـذه الرواسب تنقص من كفاءة الضاغط . ويجرى هذا الغسيل على مدد متفاوتة قد تصل إلى أسبوع وتعتمد على درجة التلوث الخارجى .

ثانياً : الغسيل لجانب التربينة :

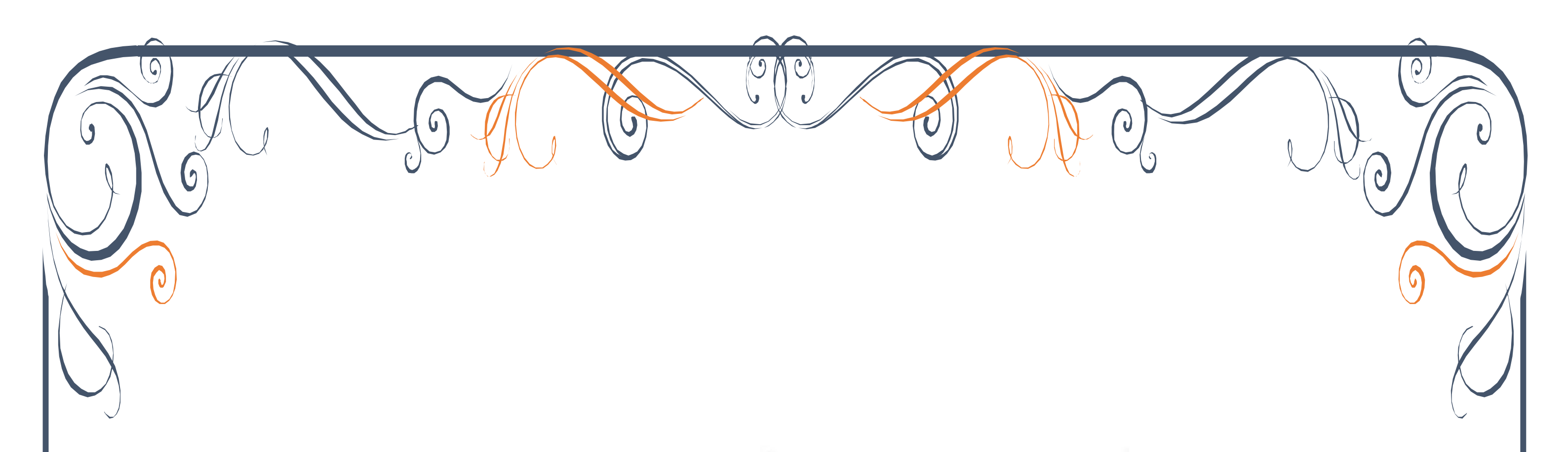
اتساخ سكة العادم على التربينة بالكربون المتخلف من الوقود والزيوت.حيث تتكون شوائب صلبة تتداخل فىطريق العادم وترتفع درجة حرارتها مما يسبب تقليل كفاءة التربينة وقد تؤدى إلى عدم اتزان العمود الدوار ، ولذا يجب غسيل التربينة من وقت لآخر .

وتجرى عملية الغسيل دائماً عند السرعات المنخفضة ، ويتم ذلك بحقن كمية معينة من الماء لمدة حوالى ١٥ : ٢٠ دقيقة مع فتح المصافى للتخلص من أى مياه لـم تتبخر . وليكون التأثير أكثر فاعلية يجب أن يحقن الماء بضغط يصل إلـى ٣ بـار حيث أن ارتطام ذرات المياه هو الذى يؤدى إلى عملية النظافة .

ربما لا يمكن التخلص تماماً من الرواسب بالغسيل بالماء ، وربمـا تتعـرض أسـطح حوارى الغازات إلى مهاجمة حامض الكبريتيك ، ولذا يفضل استخدام النظافـة بـالمحلول الكيميائى الذى يعمل على إزالة الرواسب تماماً وتحفظ الضغط الخلفى فـى الحـدود التـى تضمن التشغيل الكفء للمحرك ، ويتم ذلك على فترات متفاوتة (كل يوم إلى ستة أيـام) حيث يعتمد على مدى التلوث أو توصية الصانع .

٨ ــ ٤ ــ ٥ نباح الضاغط التوربينى Surging of turbo-charger

إن ملاءمة الشاحن التوربينى Matching of T/ch للمحرك الديزل يعتبر شئ فى غاية الأهمية ، وعليه يجب أن يكون مجال التشغيل ملازماً لأعلى كفاءة وأبعد ما يمكن عن خط النباح ، كما يتضـــح من المنحـــنيات المميزة للضاغط Characteristic-curves شكل (٨ ــ ١٦) .

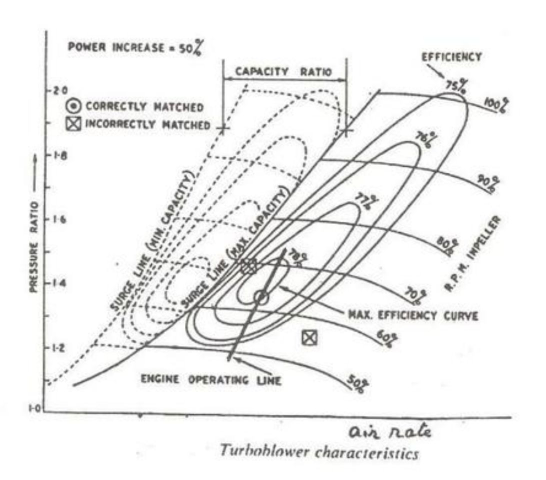


عندما يكون الشاحن غير متلائم تماماً مع المحرك (الملاءمة غير سليمة) ، يكون ضغط الهواء عال أو منخفض ودائماً ما يظهر النباح ، وعليه فيقوم الصانع فوراً بعمل التعديلات اللازمة بتغيير الناشر أو سعة التربينة .

إن ظاهرة النباح Surge بالنسبة لضواغط الطرد المركزية هى فى الأصل نتيجة تقليل سريان الهواء (عند نسبة ضغط معينة Pressure ratio) تحت مستوى معين .

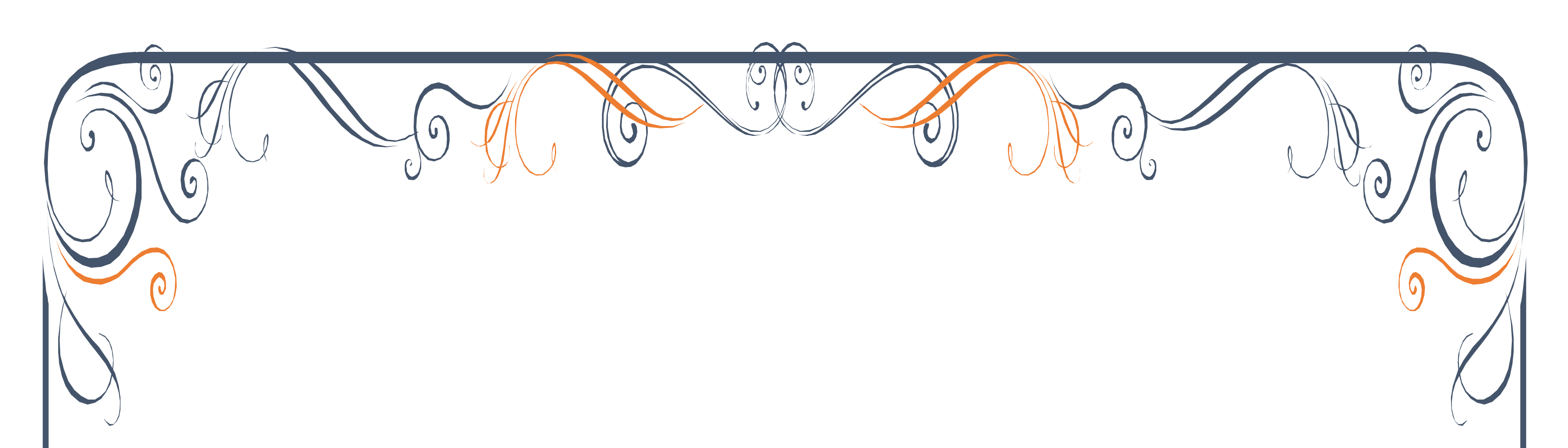
فإذا كان الضاغط يدور بسرعة معينة فيوفر سريان كمية ثابتة من الهواء على نسبة ضغط معينه ، فإذا قيد الهواء الخارج منه (أى أمكن تقليل السريان) فيلاحظ ارتفاع فى نسبة الضغط ، ولكن هذا لا يستمر طويلاً حيث تصل إلى لحظة ما عندها يقل ضغط الهواء المتولد مرة واحدة ويتجه الهواء فى اتجاه عكسى ويصحبها صوت مزعج أى هى لحظة حدوث النباح .

إذا سمع هذا الصوت فى بداية التشغيل ولفترة قصيرة فلا ضرر منه ، ولكن إذا حدث عند السرعات العالية ، فيجب تقليل سرعة المحرك فوراً ، حتى يتوقف هذا النباح ، ويتم البحث عن الأسباب المؤدية لذلك ومحاولة علاجها .



Turboblower characteristics

شكل (٨ ــ ١٦)



إن خط التشغيل الموضح على الشكل (٨ ــ ١٦) هو دالة لهذه الخصائص مع الوضع فى الاعتبار حقيقة أن كفاءة الضاغط تنقص كلما زادت المسافة بين خط النباح وخط التشغيل ، وعليه فإن ملاءمة Matching الضاغط للمحرك يصبح مجال للمقارنة بين كفاءة الضاغط والتشغيل بعيداً عن خط النباح .

والتطبيق العملى فضل التشغيل بعيداً عن خط النباح كلما أمكن وذلك مراعاة لتدهور حالات التشغيل مثل تكون الأوساخ في حيز الضاغط أو التربينه ، أو كسر فى الريش أو الفوهات أو الكراسى .

فأثناء التشغيل العادى تتكون الرواسب على ريش الضاغط ويرجع ذلك إلى إمكانية دخولها مع الهواء ، ويمكن تنظيفها بسهولة بالغسيل بالماء على فترات منتظمة (كما سبق شرحه) .

أما بالنسبة للتربينة فإن الرواسب تظهر نتيجة الشوائب الموجودة فى الوقود مثل الرماد والفاناديوم والصوديوم والمواد الكربونية ، وكذلك نتيجة رواسب سلفات الكالسيوم والتى يرجع أصلها على الإضافات القلوية لزيت تزييت الاسطوانات . وأن التنظيف بالغسيل كما سبق توضيحه له فائدة فى إزالة هذه الرواسب ، ولكن يجب مراعاة التجفيف التام بعد الغسيل لإبعاد مخاطر التآكل نظراً لوجود مركبات الكبريت . ويفضل التنظيف بمحلول كيميائى حيث يعطى نتائج أفضل . وليكن معلوماً أن الغسيل قد يؤدى غالباً إلى توقف حدوث ظاهرة النباح .

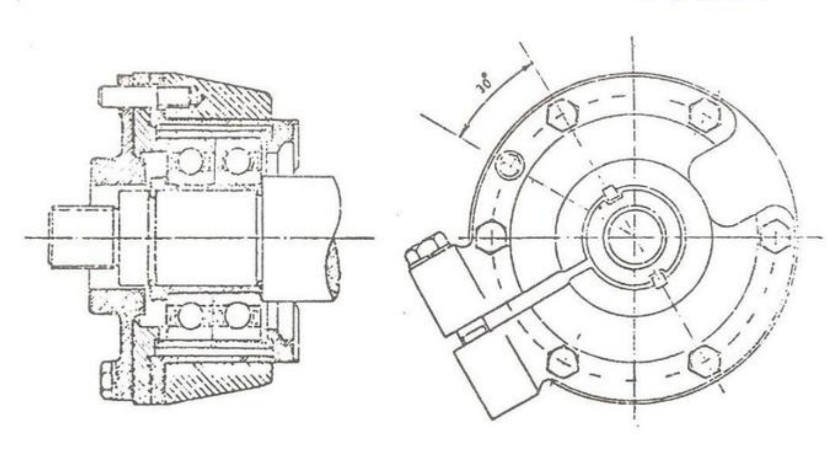
وبعيداً عن اتساخ التربينه توجد عوامل أخرى تسبب النباح مثل انسداد فى بوابات أو مواسير العادم أو اتساخ الفلاتر أو المبرد ، بالإضافة فإنه توجد أسباب أخرى كثيرة لها تأثير مثل التغير فى اندفاع غازات العادم إلى التربينة ، نظراً لعدم تساوى قدرات الوحدات سواء وحدة لا تحرق أو أخرى محملة أكثر من العادى ، وكذلك التغير السريع فى الحمل على المحرك أو التشغيل على الحمل الزائد .

٨ ــ ٤ ــ ٦ : فصل الشاحن التربينى Turbo-charger break down

يجب إيقاف المحرك فوراً عند حدوث عطل بالشاحن أو إذا لم يتوقف النباح عند تقليل السرعة وذلك لحصر التلف وعدم زيادته ، وفى حالة عدم إمكانية إيقاف المحرك نظراً لسلامة السفينة ، يمكن تقليل سرعة المحرك إلى الدرجة التى تتلاشى عندها الذبذبات .



إذا أمكن إيقاف المحرك مع عدم توافر الوقت لإتمام الإصلاح ، فيمكن تكتيف Locking العمود الدوار ، كما فى الشكل (٨ ــ ١٧ أ) ، مع استمرار سريان مياة التبريد للتربينه ، وفتح الصمام القلاب flap-valve على طرد الضاغط جزئياً ليسمح بمرور بعض الهواء من المجمع لتبريد ريش الضاغط ، وتستخدم هذه الطريقة فقط فى حالة خروج العــادم بنظــام الضغط الثابت .



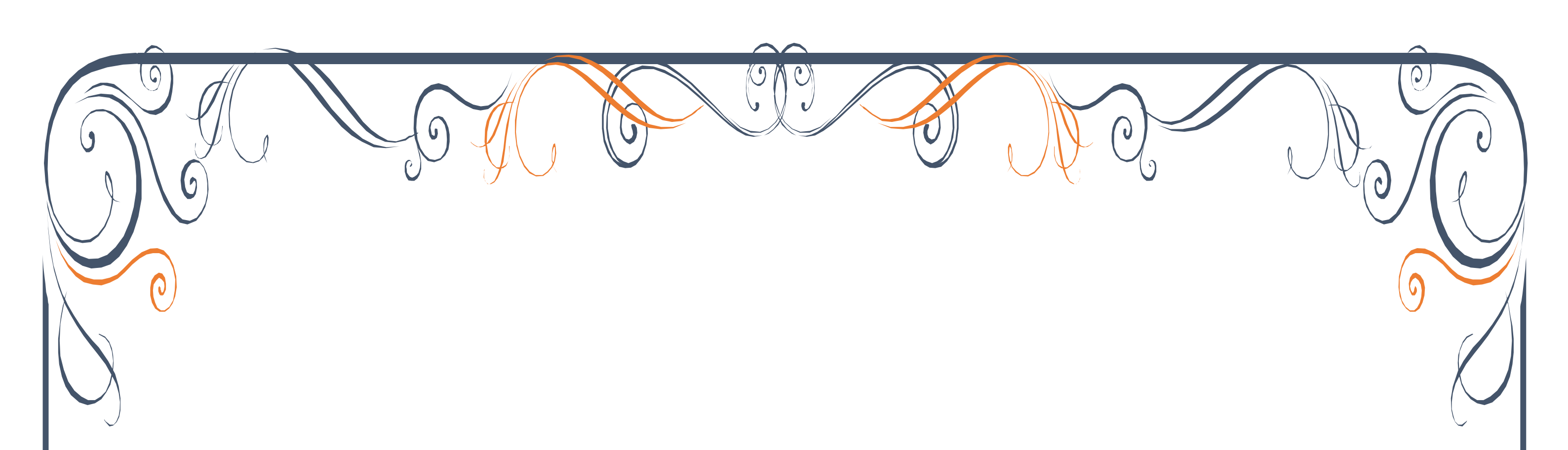
شكل (٨ ــ ١٧ أ)

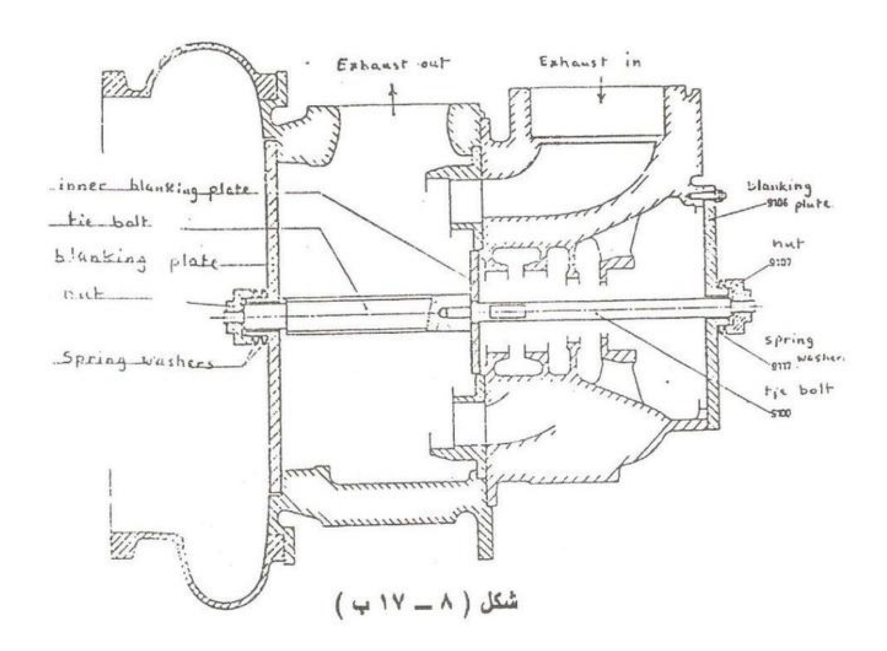
أما فى حالة خروج العادم بنظام الدفع فيجب رفع العمود ويستخدم blanking-device لضمان عدم دوران العمود كما هو واضح بالشكل (٨ ــ ١٧ ب) .

ملحوظــــــة :

إذا تم فصل أحد الشواحن ويوجد آخر بالعمل فسوف تقل قدرة المحرك ، ويجب مراعاة درجات حرارة العادم للتأكد من سلامة الاحتراق .

فى حالة عدم وجود شاحن آخر ، يجب فتح أبواب مجمع الهواء مع ضع شبكه ومراقبته تماماً .





شكل (٨ ــ ١٧ ب)

٨ ــ ٤ ــ ٧ : العيوب وأسبابها Faults and possible causes

١ ــ ضغط الشاحن أقل من العادى Pressure lower than normal

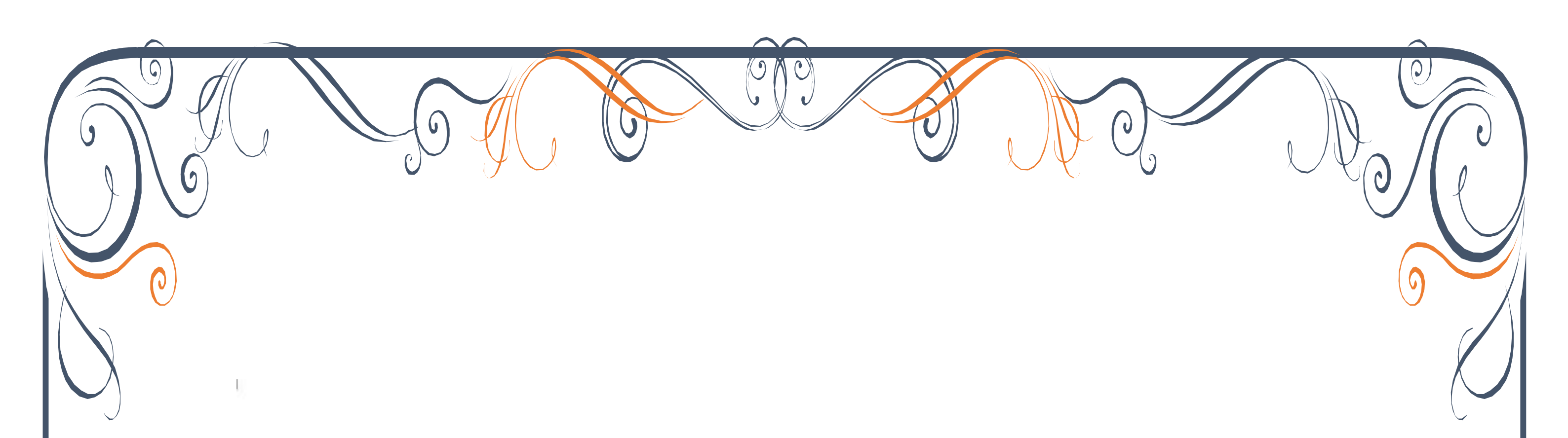
قدرة وسرعة المحرك لم تتغير :

المحرك :

- وجود تسريب فى مجمع الهواء أو الوصلة بين المحرك والشاحن التربينى

الشاحن :

- خطأ فى قراءة المانومتر أو تسريب فى وصلته .
- انسداد فى فلتر الهواء .
- اتساخ الضاغط أو التربينه .
- عدم إحكام الجلند اللابيرنثى Labyrinth seals



- كسر بريش التربينة أو الفوهات .
- وجود ضغط خلفى عالى .

٢ ـ ارتفاع درجة حرارة غازات العادم

Exhaust gas temperature higher than normal

قدرة وسرعة المحرك لم تتغير :

المحرك :

- عيب بجهاز حقن الوقود .

الشاحن :

- نقص فى كمية الهواء نتيجة انسداد الفلتر .
- وجود ضغط خلفى عالى .
- اتساخ ضاغط الهواء .

مبرد الهواء :

- نقص كمية المياه أو ارتفاع درجة حرارتها .
- وجود هواء مع المياه .
- اتساخ مواسير المبرد .

٣ ـ اهتزاز الشاحن : Turbo-charge vibrates

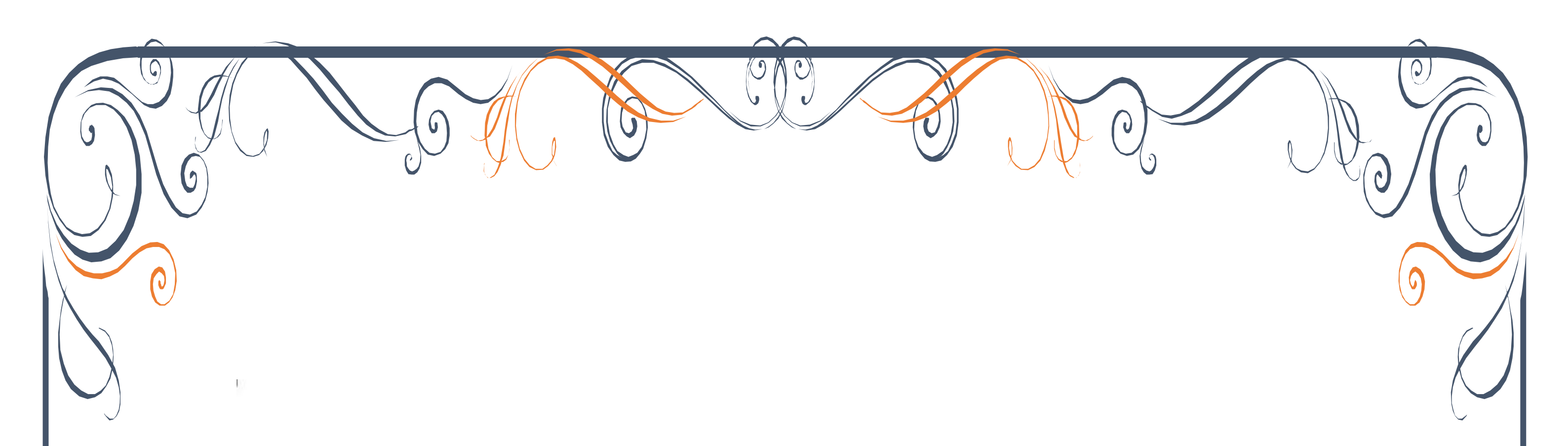
عدم الاتزان نتيجة :

- اتساخ الشاحن تماماً .
- كسر بريش التربينه .
- التواء العمود .
- انهيار المحامل .

٤ ـ اتساخ زيت التزييت بسرعة : Bearing-oil becomes dark very quickly

(يحدث فقط فى حالة التزييت الضمنى)





- تلف الجلندات الحاكمة وتسرب العادم للزيت .
- انسداد ماسورة نزيف الهواء .
- زيادة خلوص الجلند الحاكم .

ه ــ تسريب بالجسم Casing leaks

- الشــــروخ :

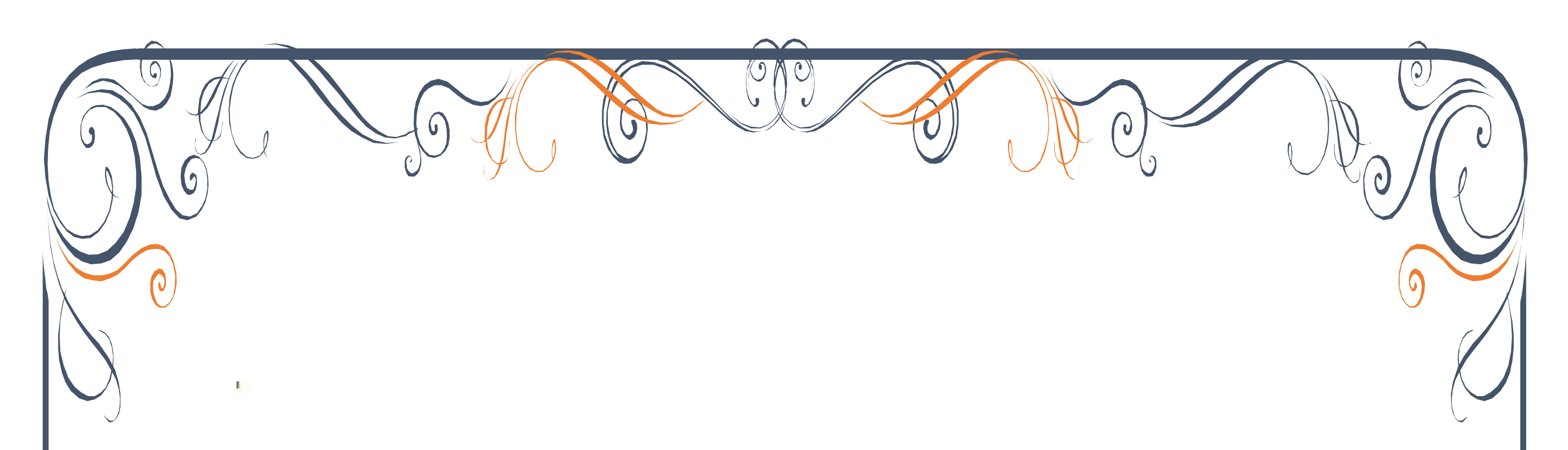
وتتسبب بالاجهادات الحرارية نتيجة نقص أو عدم تساوى سريان مياه التبريد .

- التآكل ناحية غازات العادم :

نتيجة حامض الكبريتيك مع زيادة النحر بنواتج الاحتراق .

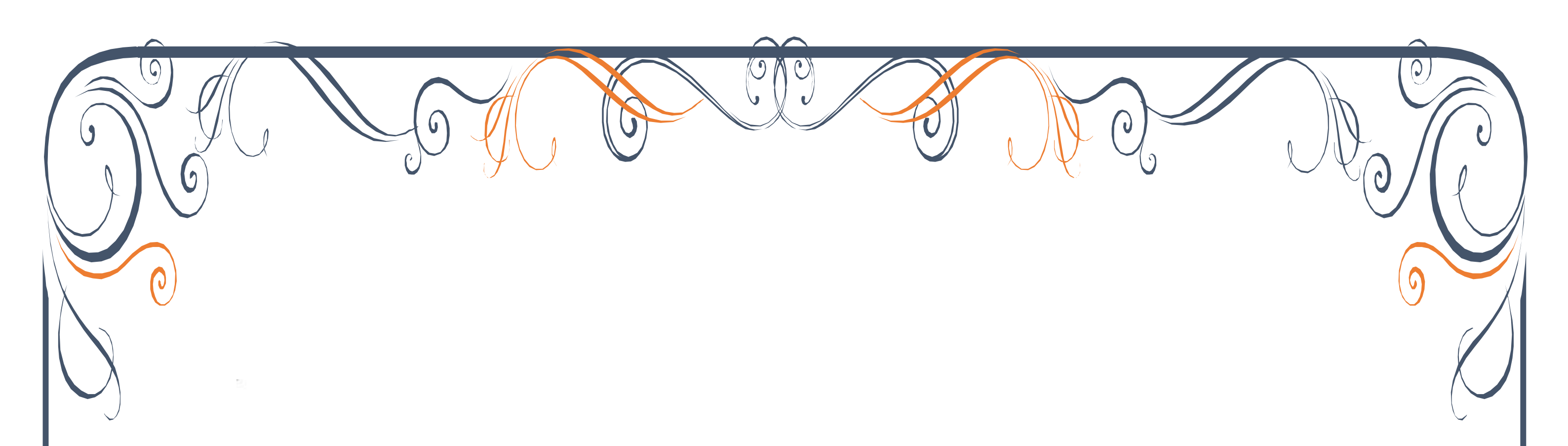
- التآكل ناحية مياه التبريد :

نتيجة استخدام مياه مالحة فى التبريد أو عدم وجود أصابع الزنك .



أسـئلة

١. كيف يمكن زيادة قدرة المحرك ؟
٢. ما الغرض من الشحن الجبرى ؟ وما هى الطرق المستخدمة ؟ اشرح مع الرسم .
٣. أذكر مزايا الشحن الزائد ، أرسم خطياً منظومة الشحن الجبرى .
٤. تكلم عن الطرق المختلفة لنقل غازات العادم ، وقارن بينها ، استعن بالرسم .
٥. ما هى مطالب استخدام نظام الدفع فى نقل غازات العادم .
٦. أوصف مع الرسم شاحن توربينى ، وبين كيف يحكم حيز الهواء والعادم .
٧. تكلم عن الطرق المختلفة لتزييت محامل الشاحن التوربينى .
٨. ما المقصود بخاصية " نباح الضاغط التوربينى " ؟
٩. كيف يمكن فصل الشاحن التوربينى فى حالة العطب ؟
١٠. ما هى العيوب المحتمل حدوثها بالنسبة للشاحن لتوربينى وأسبابها ؟
١١. بالنسبة لشاحن الهواء الرئيسى ، أشرح :
أ- كيف يحمل العمود ؟
ب- كيف تحكم وتبرد جلندات العمود ؟
ج- كيف تزيت المحامل ؟
د- لماذا يستخدم الغلاف ذات المقطع الزائد ؟
ه- لماذا يوجد المبرد بعد الشاحن ؟
و- ما تأثير زيادة أو نقص درجة حرارة الهواء عن قيمة معينة ؟
١٢. ما هو التصرف فى حالة انهيار أحد الشواحن التوربينية بالمحرك ؟ وما هو تأثير ذلك على تشغيل المحرك ؟ وما هى الاحتياطات الواجب اتخاذها ؟
١٣. تكلم عن وأوصف القصور الذى يلحق بالشاحن عند حدوث :
أ : النباح		ب : الاهتزازات
جـ : التزييت		د : التبريد
١٤. ما هى طبيعة الأوساخ التى تعلق بأسطح الغلاف الداخلى للشاحن التوربينى وما هـو تأثيرها على تشغيل المحرك ، أشرح كيف يمكن إزالتها .



الباب التاسع

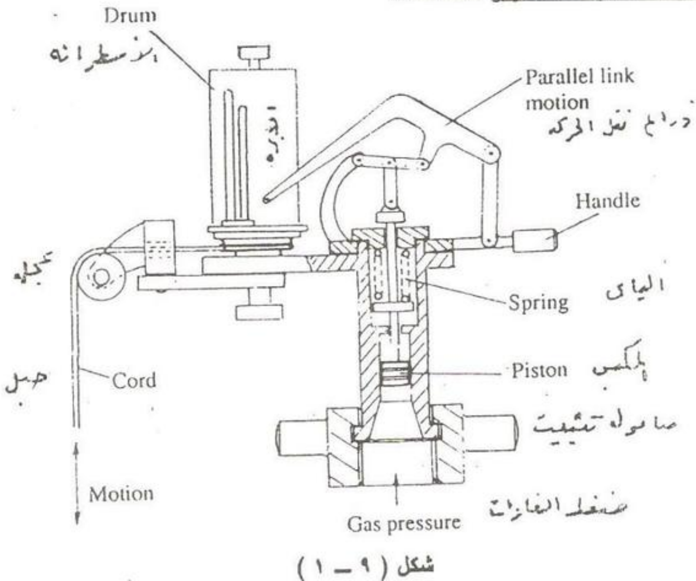
قدرة المحرك واستهلاك الوقود

Engine power and fuel consumption

٩ ـ ١ القدرة البيانية Indicated power

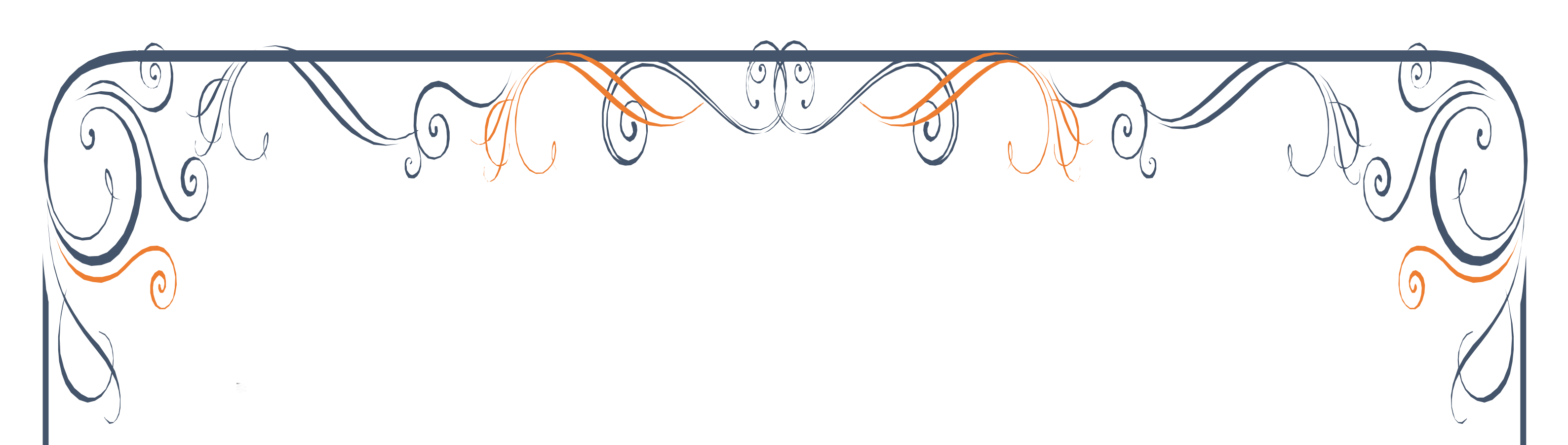
القدرة البيانية لمحرك الديزل هى مجموع القدرة المولدة من ضغط الغازات فى اسطواناته ، وهى أول خطوة لتحول طاقة الوقود الحرارية إلى طاقة آلية ، وتسمى بالقدرة البيانية ويستخدم جهاز المبين Indicator لتحديدها ، ويركب على جزرة خاصة موجودة برأس الاسطوانة ، ليرسم المنحنى البياني Indicator-diagram الذى يبين العلاقة بين الضغط والحجم (موضع المكبس داخل الاسطوانة) طبقاً لمقياس رسم معين ، وعلى ورقة خاصة تسمى بطاقة المبين Indicator-card ، وبقياس المساحة المحصورة بالمنحنى البيانى يمكن حساب القدرة البيانية .

٩ ـ ١ ـ ١ : وصف الجهاز Indicator

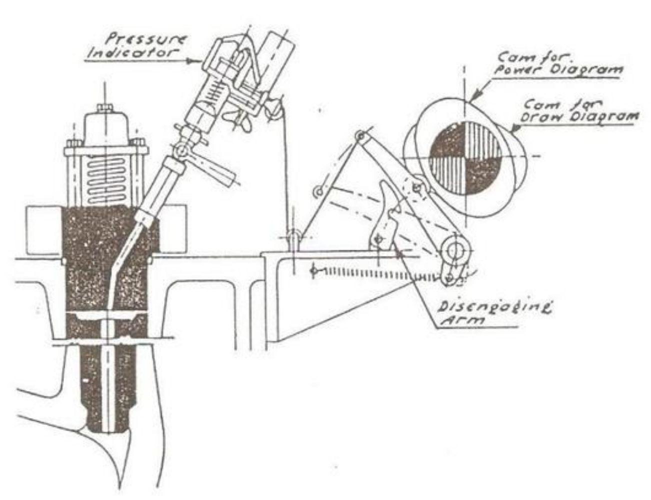


شكل (٩ ـ ١)



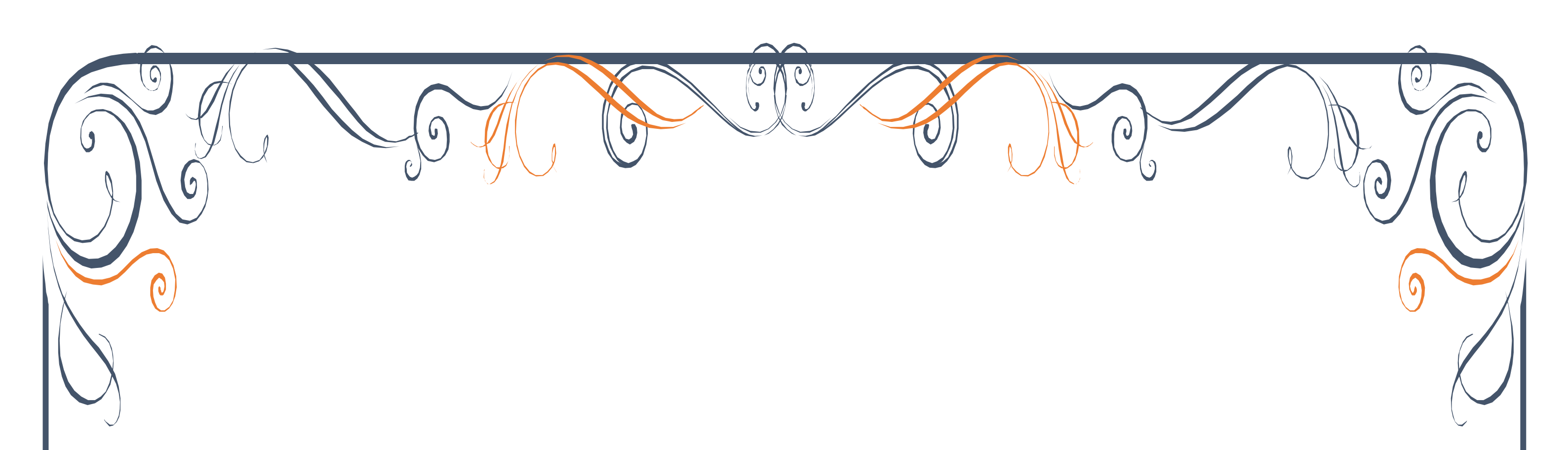


يتكون الجهاز شكل (٩ ــ ١) من اسطوانة صغيرة بداخلـــها كباس يتحرك ضـــد ضغط ياي وتكبر هذه الحركة بواسطة روافع خاصة . توصل هذه الاسطوانة بجزرة المبين ويتم تركيب بطاقة المبين على اسطوانة أخرى قابلة لدوران على محور ، وتدور بواســطة حبل يتصل بأحد الأجزاء التى تتحرك حركة ترددية تماثل حركة المكبس مثل الرأس المنزلق . أو يعمل بواسطة حدبة خاصة كما بالشكل (٩ ــ ٢) ، وينقل الكباس الصــغير الموجـود بداخل اسطوانة المبين ضغط الغازات داخل الاسطوانة إلى قلم المبين الذى يتحــرك علــى البطاقة ويسجله بمقياس رسم معين ، وعن طريق دوران اسطوانة المبين يمكن الحصـول على المنحنى البيانى ، حيث تمثل حركة القلم الرأسية التغير فى الضغط داخل الاسطوانة ، بينما تمثل حركة الحبل الأفقية التغير فى الحجم .



—Camshaft drive for operating drum of pressure indicator, 4-stroke engine

شكل (٩ ــ ٢)



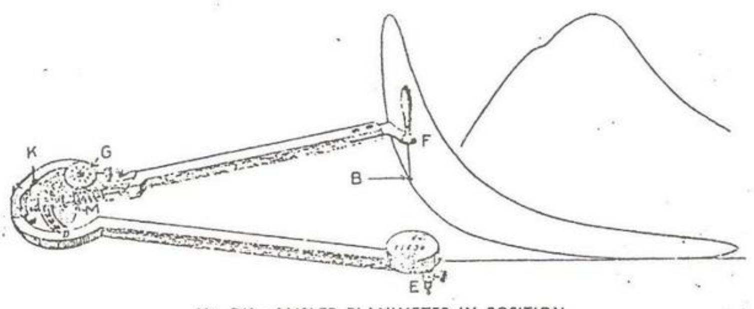
وتؤخذ الكروت البيانية عند الحمل الكامل Full - load وتسجل على البطاقـة البيانـات التالية :

Date :	Scale :	
Cyl. No. :	Fuel oil temp^r. :	Pressure :
R.P.M. :	Exh. Temp^r. :	
Position of Rack :	Area :	M.I.P., I. P. :

٩ ــ ١ ــ ٢ : تحديد القدرة البيانية Indicated power determination :

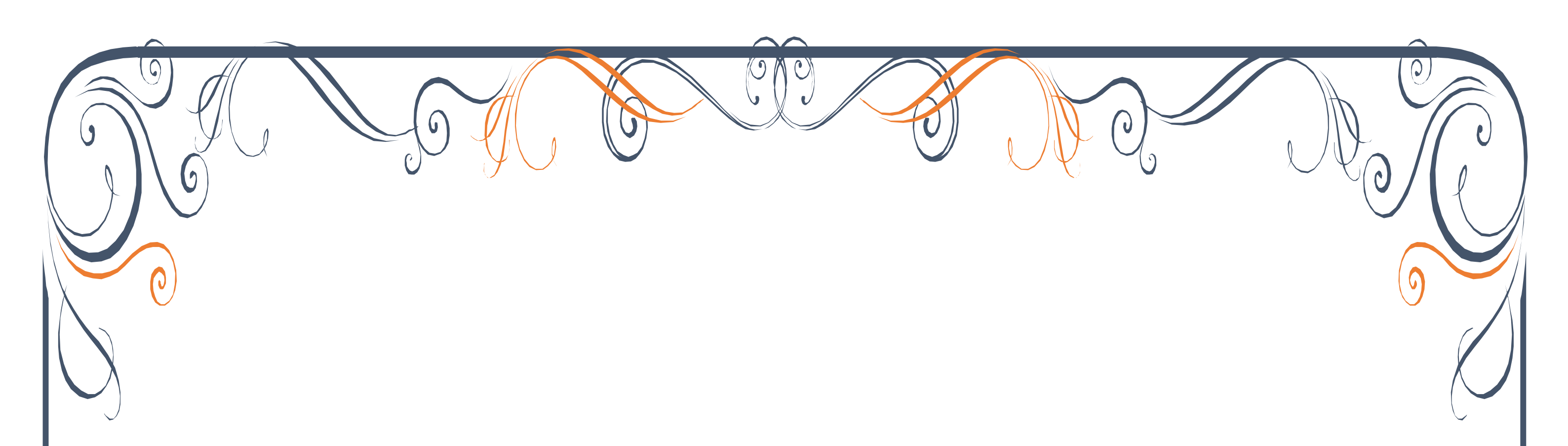
يمكن تحديد المساحة بواسطة جهاز البلانوميتر Planometer ويتحدد الضغط المتوسط الفعال Mean indicated pressure كالآتى :

الشكل (٩ ــ ٣) يمثل المنحنى البيانى لمحرك ثنائى الأشواط ، والمساحة المحصورة تمثل مقدار الشغل المستفاد فى الدورة الواحدة .



شكل (٩ ــ ٣)

بقسمة المساحة على طول المنحنى يمكن الحصول على ارتفاع متوسط يمثل الضغط المتوسط البيانى بمقياس رسم معين والذى يؤثر على المكبس . إذا تم قياس المساحة بـ mm^2 فيكـون الارتفاع المتوسط mm وبضربه فى مقياس الضغط للياى (N/m^2 per mm) نحصـل علـى الضغط المتوسط البيانى ($P_m = N/m^2$) .



∴ Indicated power / cylinder = P_m. L.A.n .... Watt .

Where :

P_m : indicated M.I.P. (N/m^2)

A : area of piston (m^2)

L : length of stroke (m)

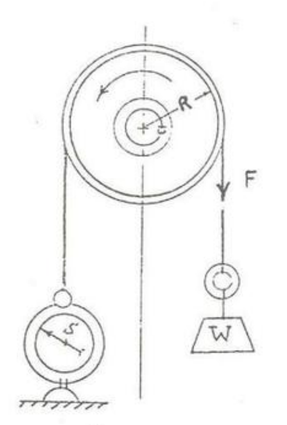
n : No. of power strokes per sec.

وإذا كان ض.م.ف. بـ $K.N/m^2$ فتكون القدرة بـ KW .

٩ ـ ٢ القدرة الفرملية Brake power

القدرة الفرملية هى مقدار القدرة الفعالة المنتفع بها عند عمود المرفق ، ووحدة قياسها هى (كيلووات) ، وتسمى فرملية لأنها تقاس عملياً بالفرملة ، والآتى بعد طريقة الحساب .

بالنظر إلى الشكل (٩ ـ ٤)



شكل (٩ ـ ٤)

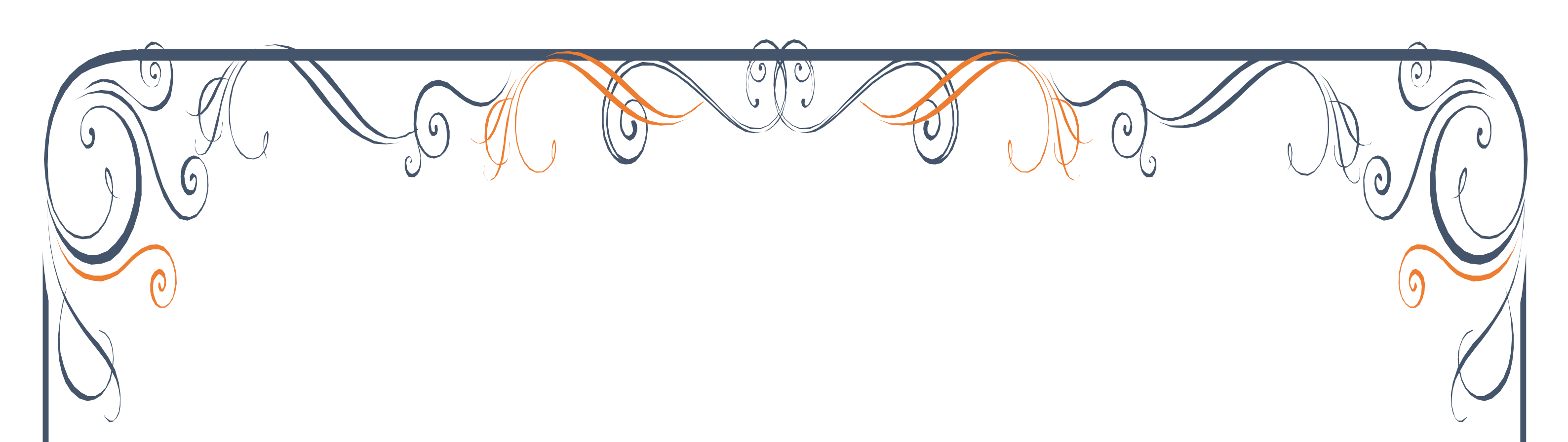
القوة المضادة للفرملة على بعد نصف القطر (F)

F = resisting force of brake applied at radius R.

Work absorbed per revolution = F × circumference

$= F \times 2\pi R$





Work absorbed per sec. = $F \times 2\pi R \times \frac{Revs}{sec}$ ∴ الشـــــغل فى الثانية

(Torque in N.m = T)   وحيث أن عزم الدوران يساوى $F \times R = T$

∴ Brake power = $T \times 2\pi \times \frac{Revs}{sec}$ = $T.\omega$.

∴ القدرة الفرملية تساوى عزم الدوران × السرعة الزاوية .

If   W = weight of load in (N) .

S = reading of spring balance S

∴ $F = W - S$

∴   Brake power = $T . \omega$.

ويمكن توضيح ذلك بالمثال الآتى :

S = 72 N ,   W = 425 N ,   R = 600 mm ,   R.P.M. = 250

فتكون القدرة الفرملية هى :

$F = W - S = 425 - 72 = 353$ N

$T = F \times R = 353 \times 0.6 = 212$ N.m

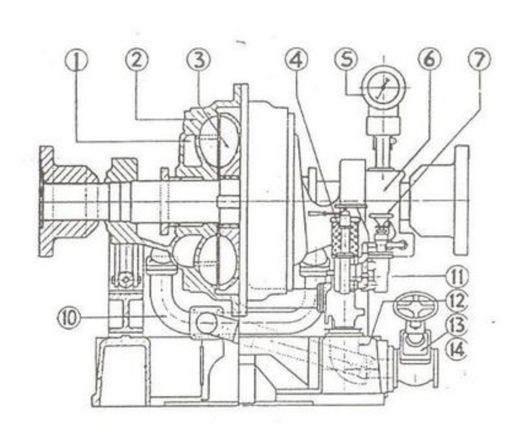
∴ Brake power = $212 \times \frac{2\pi \times 250}{60}$ = 5500 Watt .

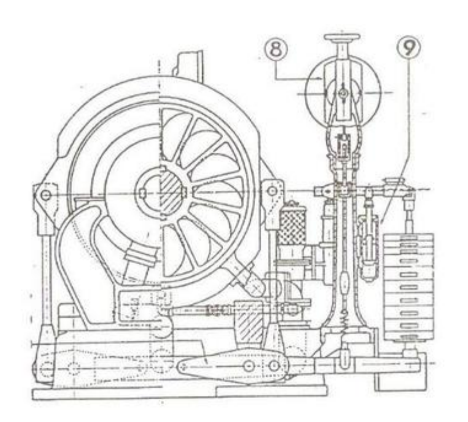
٩ ـ ٢ ـ ١ : جهاز "فرويد" لقياس القدرة الفرملية للمحرك

Froude hydraulic dynamometer

الشكل (٩ ـ ٥) يوضح أحد هذه الأنواع والمعروف باسم [دينـــاموميتر فروويـــد) والفكرة العامة لهذا الجهاز ، هو أنه إذا كان لدينا مروحة تدور بموتور كهربى ، وقربنـــا منها أخرى بدون موتور ، فإن دوران الأولى يتسبب فى دوران الثانيـــة ، وكلمـــا قربـــت المروحة الأولى من الثانية ، وكلما زادت درجة لزوجة الوسيط بينهمـــا ، كلمـــا تقاربـــت السرعتان . وتعليل ذلك أن طاقة الحركة المتولدة من المروحة الدائرة بالموتور تنقل إلـــى الوسيط , ومنه إلى المروحة الأخرى وتسبب دورانها .





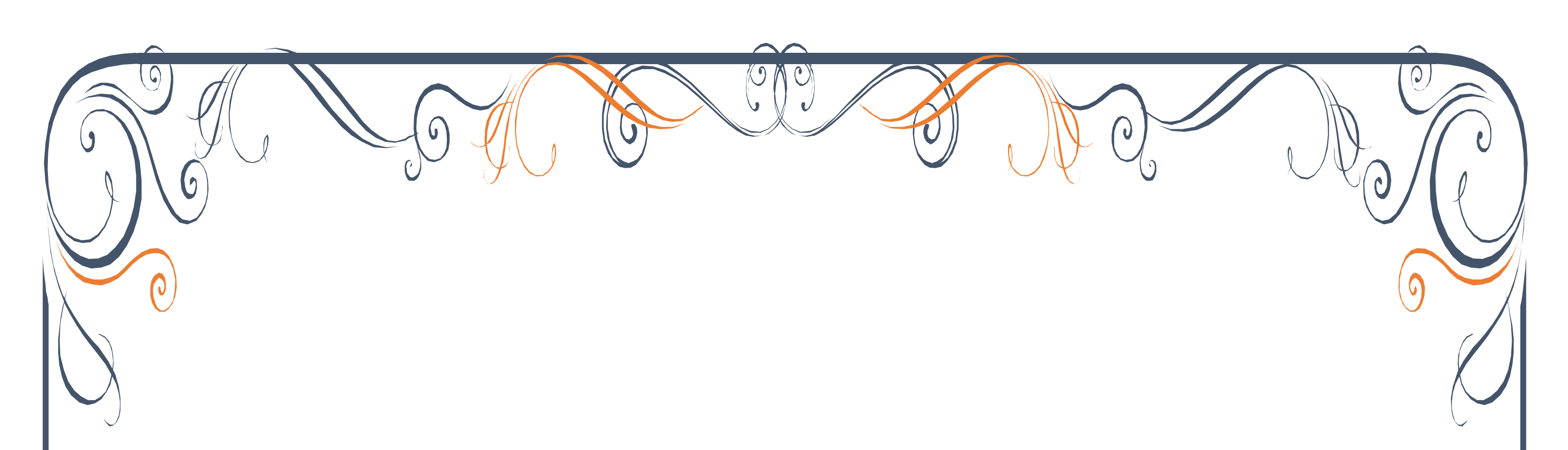


—DIAGRAMMATIC CROSS-SECTION OF FROUDE HYDRAULIC DYNAMOMETERS.
(Types S.A. and F.A.)

1, Inlet water chamber.
2, Casing.
3, Rotor.
4, Expansion chamber.
5, Tachometer.
6, Gear box
7, Needle valve.
8, Spring balance.
9, Dashpot.
10, Water inlet piping.
11, Back-pressure valve.
12, Water outlet.
13, Water inlet valve.
14, Torque meter levers.

شكل (٩ ــ ٥)





وجهاز فروبد عبارة عن طارة بها تجاويف ومتصلة بعمود المرفق وتسمى الطارة الساحبة وتدور معه بنفس السرعة ، ويوجد على جانبى هذه الطارة الجسم حر التأرجح على مراكز دوران مقاومة للاحتكاك ، وبه تجاويف من الجانبين متقابلة مع تجاويف الطارة.

فحينما يمر الماء فى الجهاز يندفع إلى فجوات الطارة الساحبة بفعل قوة الطرد المركزى ، ثم يتجه بسرعة كبيرة إلى التجاويف المتقابلة معه فى الجسم بقوة كبيرة تؤدى إلى دورانه فى نفس الاتجاه وكذلك امتصاص الحرارة المتولدة .

ويعادل هذا الدوران بواسطة رافعة موازنة تنتهى بمجموعة توازن تتكون من ميزان زنبركى وأثقال ، حيث يتساوى العزم المقاوم مع العزم المؤثر . ويمكن حساب القدرة الفرملية من المعادلة :

$$\text{Shaft power} = T.\,\omega = T \times \frac{2\pi n}{60} = W \times L \times \frac{2\pi n}{60}$$

$$\text{Or} \quad \frac{W \times n}{K} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ (K.W)$$

Where :

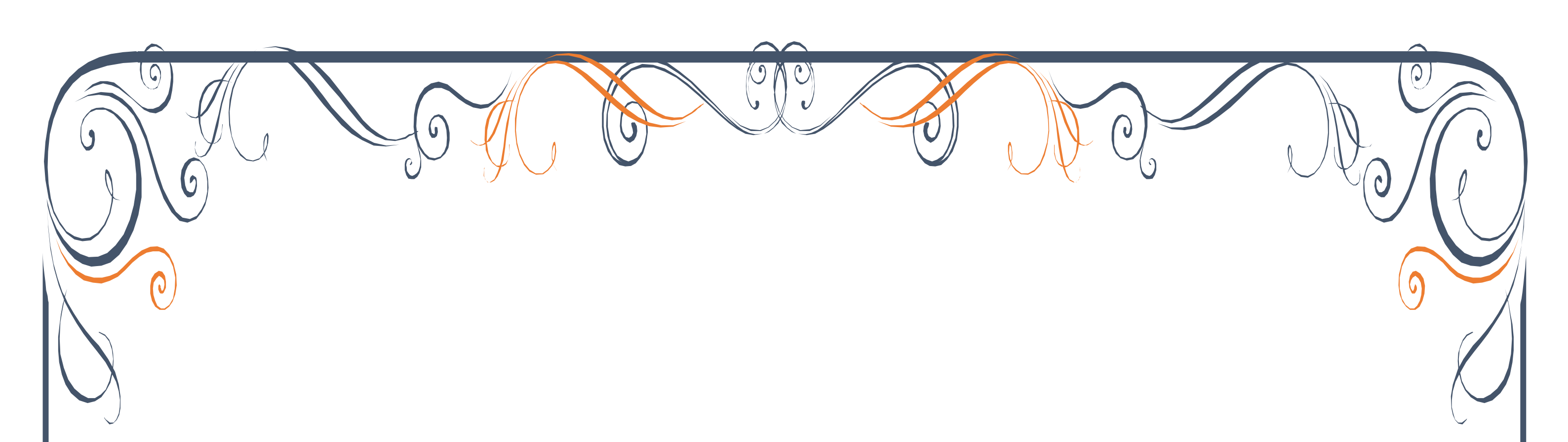
W = weight in Kg	الأثقال
n = revs / min.	عدد اللفات فى الدقيقة
K = constant stamped on the dynamometer	= ثابت الجهاز

٩ـ٢ : الكفاءة الميكانيكية

η_m - Mechanical efficiency

تستعمل كلمة الكفاءة Efficiency للتعبير عن النسبة بين ما يدخل فى الآلات من طاقة وما يؤخذ منها ، وعلى سبيل المثال إذا نظرنا إلى الكفاءة التى يحول بها محرك الديزل طاقة الوقود الحرارية إلى طاقة ميكانيكية ، كان ما يؤخذ من المحرك هو الشغل المستفاد ، وأما ما يدخل فهو الحرارة المستمدة من الوقود . ويعبر عن الكفاءة عادة بنسبة مئوية .

$$\text{الكفاءة الحرارية} = \frac{\text{الحرارة المحولة إلى شغل مستفاد}}{\text{الحرارة المعطاة}} \times ١٠٠$$



ولقد ســـبق تعريف القدرة البيانية بأنها القدرة المولدة من الغازات فى الاســـطوانة (نتيجة تحول الطاقة الحرارية للوقود إلى طاقة آلية) ، وتنقل بعد ذلك إلى خارج المحرك كقدرة فعالة ، وذلك بعد أن تفقد جزءاً منها للتغلب على مقاومة الاحتكاك الموجـودة فـى الأجزاء المتحركة ، وكذلك القدرة الممتصـــة للتركيبـات الملحقـة مثـل المضـخات والضواغط ... الخ .

ويعرف الجزء المفقود من القدرة البيانيـة بالفقـد الميكـانيكى Mechanical - loses وتستعمل عادة الكفاءة الميكانيكية للمحرك كتعبير عن فقده الميكانيكى حيث أن :

$$\text{الكفاءة الميكانيكية} = \frac{\text{القدرة الفرملية}}{\text{القدرة البيانية}} \quad \text{أو}$$

$$\eta_m \text{ -Mechanical efficiency} = \frac{\text{Brake horse power (b.h.P.)}}{\text{Indicated horse power (i.h.p.)}} \times 100$$

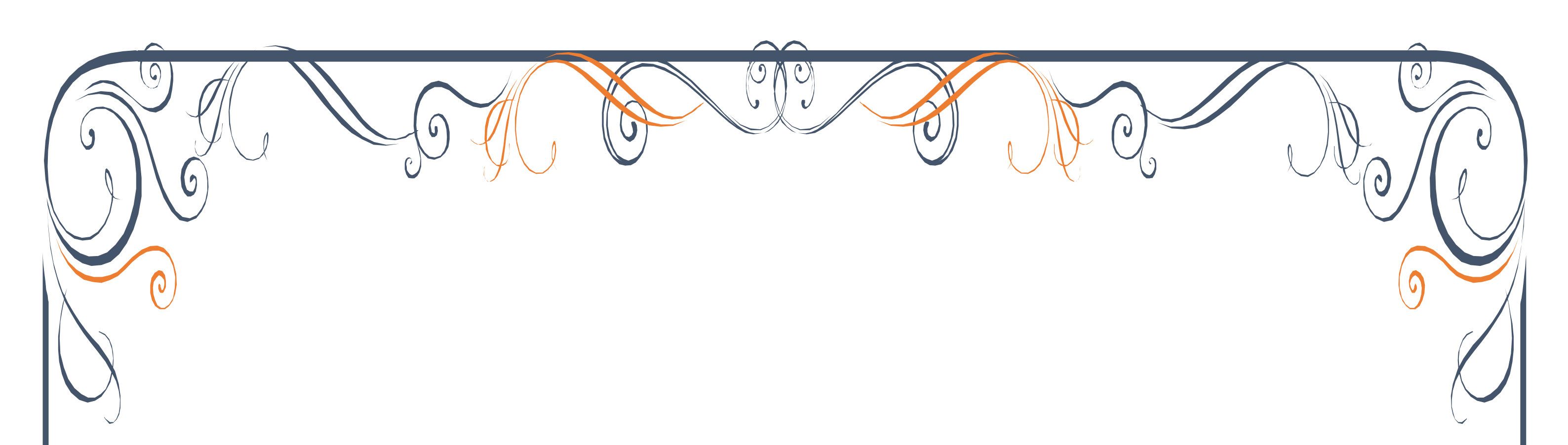
والفقد الميكانيكى عبارة عن فقد الاحتكاك ويصل إلى حوالى ٧% ، والقدرة الممتصة فى المعدات الملحقة وهى من ١ : ٩% ، ويزيد عادة بالنسبة للمحركات الثنائية الأشـواط إذا وجدت مضخات الكسح ، إلا أن ذلك يعوضه عدم احتساب الفقد الاحتكاكى فى شوطى السحب والعادم فى المحرك رباعى الأشواط ، وقد يزيد الفقد فى المحركات السريعة نظراً لتواجـد المضخات الملحقة Attached .

وتعتمد الكفاءة الميكانيكية للمحرك على طريقة إنشائه ، والحمل ، ودرجة الحـرارة ، وتتراوح قيمتها بين ٧٨% ، ٩٠% عند الحمل الكامل ، وتقل عند الأحمال الجزئية لنفس المحرك (أنظر شكل ٩ ـ ٧) .

٩ ـ ٤ استهلاك الوقود Fuel-consumption

يقدر استهلاك الوقود عادة بالكيلوجرام/ ساعة أو طن / يوم ، أمـا المعـدل النـوعى لاستهلاك الوقود " g " فيقاس بـ كجم / ك . وات . ساعة .

وسبق تعريف الجودة الحرارية البيانية للمحرك بأنها النسبة المئوية بين الشغل المولد من الغازات فى الاسطوانة فى مدة معينة إلى الطاقة الحرارية الناتجة من الوقود المحترق،



والجودة الحرارية الفرملية بأنها النسبة المئوية بين الشغل المستفاد به من المحرك إلـى الطاقة الحرارية للوقود المحترق .

ويجب أن تكون الوحدات المستخدمة للشغل هى نفس الوحـدات المسـتخدمة للطاقـة الحرارية للوقود .

وتقدر القيمة الحراريـة للوقـود عـادة بـ k. Cal / Kg . أو MJ / Kg ، أما الاستهلاك فيقدر بالكيلوجرام فى الساعة . وبذلك تكون كمية الحرارة المعطاة للمحرك فـى زمن معين عبارة عن مقدار استهلاك الوقود فى هذا الزمن مضروباً فى القيمة الحراريـة للوقود .

ولتحويل قدرة المحرك الفرملية من وحدات شغل إلى وحدات حرارية تستعمل معـاملات التحويل :

1K.W.H. = 3600 K.J. = 3.6 M.J

1 K.W. = KJ/S

1 HP = 75 Kgm/S

427 Kg .m = 1 Kcal / Kg .

$$\text{Brake thermal efficiency} = \frac{\text{heat converted into useful work}}{\text{total heat supplied}}$$

$$= \frac{\text{One horse power hour}}{g \times C.V. \times E}$$

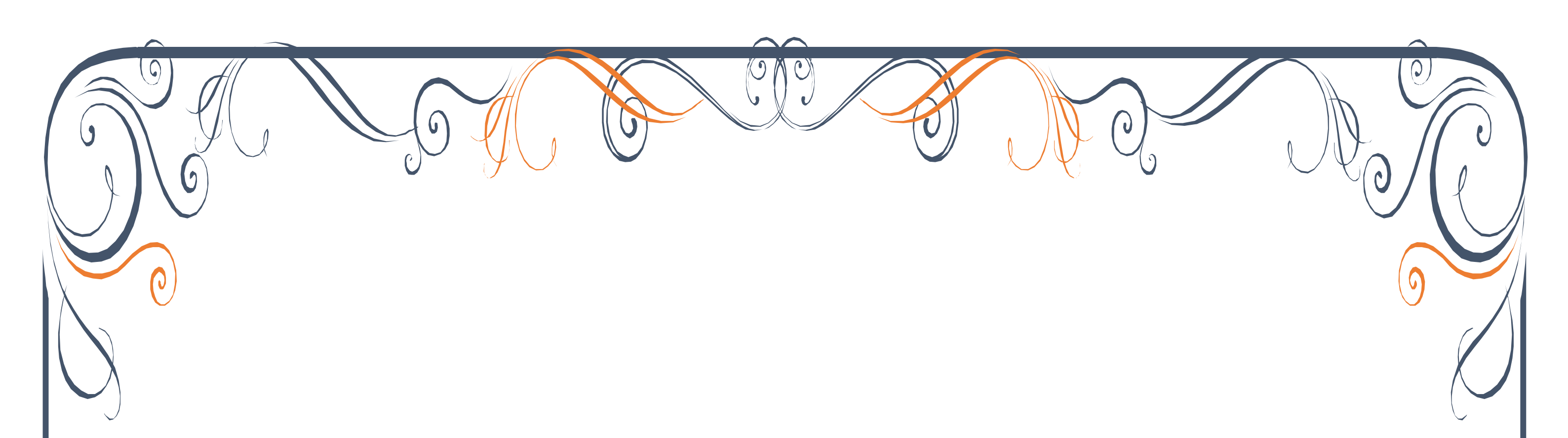
g = specific fuel consumption Kg/B.HP.h. ≃ 0.150 : 0.12

and Kg / Kw.h ≃ 0.2 : 0.16

استهلاك الوقود فى اليوم W طن / يوم :

In S.I. units :

$$W = \frac{g \times K.W \times 24}{1000} \quad .... \text{tones}$$



Where :

$g = s.f.c. \simeq 0.2$ Kg. / K W.h.

EX.

The following data were given during a trail on a six cylinder four stroke D.E.

bore = 175 mm   stroke 225 mm   R.P. M. = 1000

$P_m = 11$ bar , $\eta_m = 84\%$,   fuel consumed = 49.8 Kg/h.

C.V = 44.2 MJ / Kg.

Calculate indicated power, sp. Fuel consumption , thermal efficiency .

Solution :

Cylinder indicated power = P_m . L.A.n. , 11 bar = 1100 KN/m^2

$$= 1100 \times 0.225 \times \frac{\pi}{4}\ 0.175^2 \times \frac{1000}{2 \times 60} = 49.6 K.W$$

Engine indicated power = 49.6 × 6 = 297.6 K.W

Cylinder brake power = 49.6 × 0.84 = 41.6 K.W.

Engine brake power = 41.6 × 6 = 249.6 K.W

Consumption per cylinder = 49.8 + 6 = 8.3 Kg/h .

$$i.s.f.c = \frac{8.3}{49.6} = 0.17 \text{ Kg/I.K.W.h}$$

$$b.s.f.o = \frac{8.3}{41.6} = 0.2 \text{ Kg/ B.K.W.h}$$

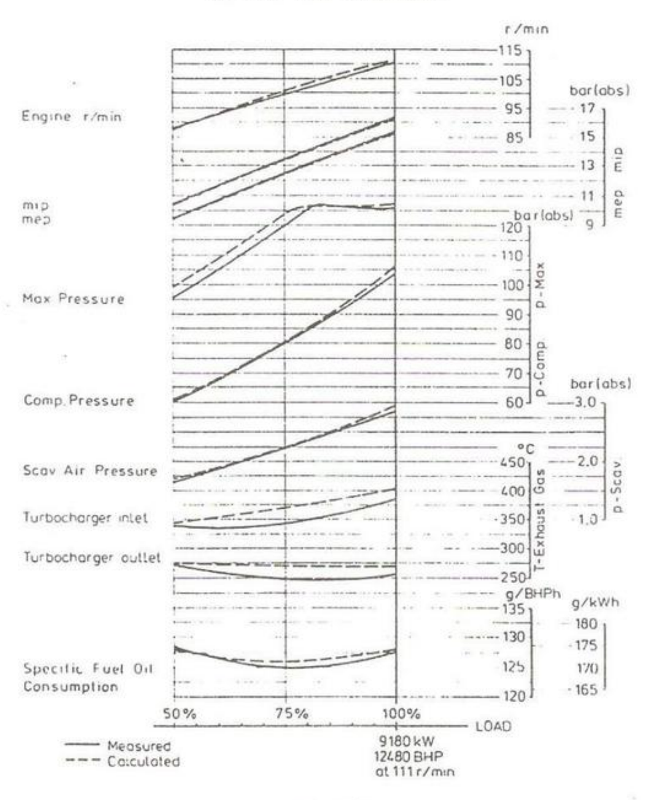
$$\text{Brake } \eta_{th} = \frac{K.W.h}{g \times c.v}$$

$$= \frac{3.6 \times 100}{0.2 \times 44.2} = 40.7\ \%$$



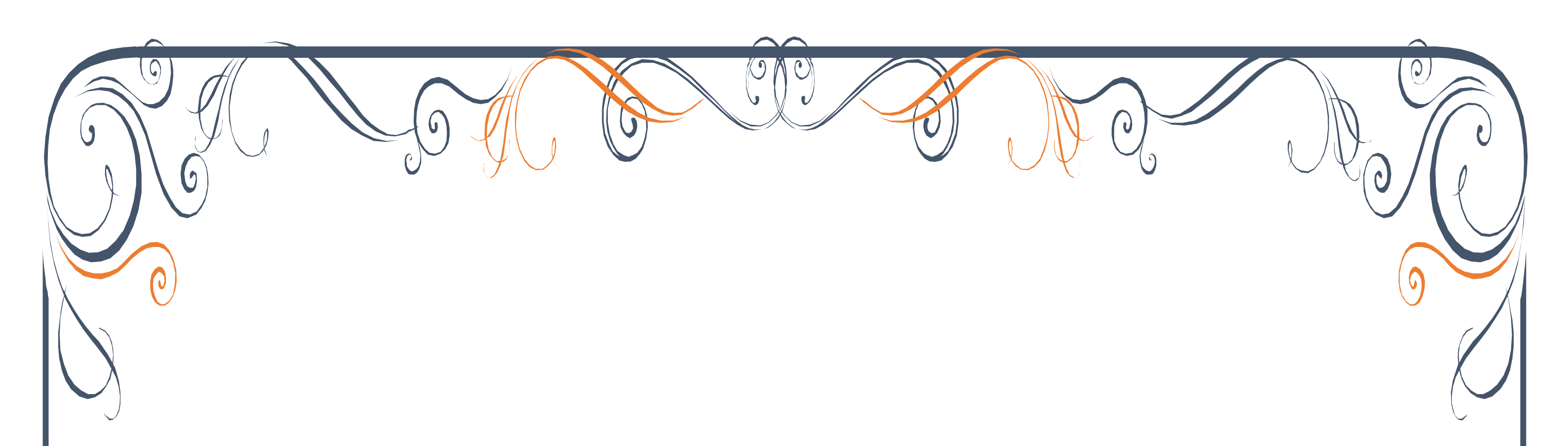
٩ ـ ٥ منحنيات الأداء Performance curves

هى تلك المنحنيات التى تمثل نتائج الاختبار التى تجرى على المحرك عند الأحمال المختلفة . وهى عادة تشمل العلاقة بين : القدرة ، درجة حرارة العادم ، الجودة الميكانيكية ، الضغط المتوسط الفعال ، استهلاك الوقود / الحمل ـ السرعة ، كما يتضح من شكل (٩ ـ ٧) .



شكل (٩ ـ ٧)



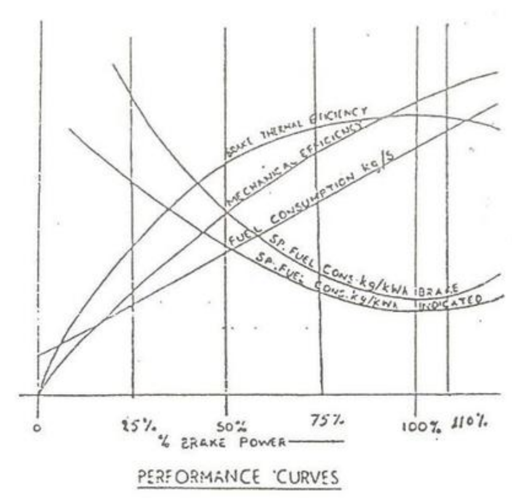


ـ الضغط المتوسط الفعال ١٥ بار عند الحمل الكامل .

ـ أقصى ضغط بالاسطوانة ١٢٥ بار عن الحمل الكامل .

ـ الاستهلاك النوعى للوقود ١٢٨ جم / حصان ساعة ، بينما أقل استهلاك ١٢٥ جم / حصان . ساعة عند ٣/٤ حمل تقريباً (١١٠ لفة / دقيقة) .

والشكل (٩ ــ ٨) يوضح معدل استهلاك الوقود مع الحمل ـ السرعة . ويتضح أن استهلاك الوقود يتزايد مع زيادة الحمل ، ولكن بتقليل الحمل إلى النصف لا يؤدى إلى تقليل الاستهلاك إلى النصف ، حيث أنه يوجد استهلاك فى حالة اللاحمل وذلك للتغلب على الاحتكاك .

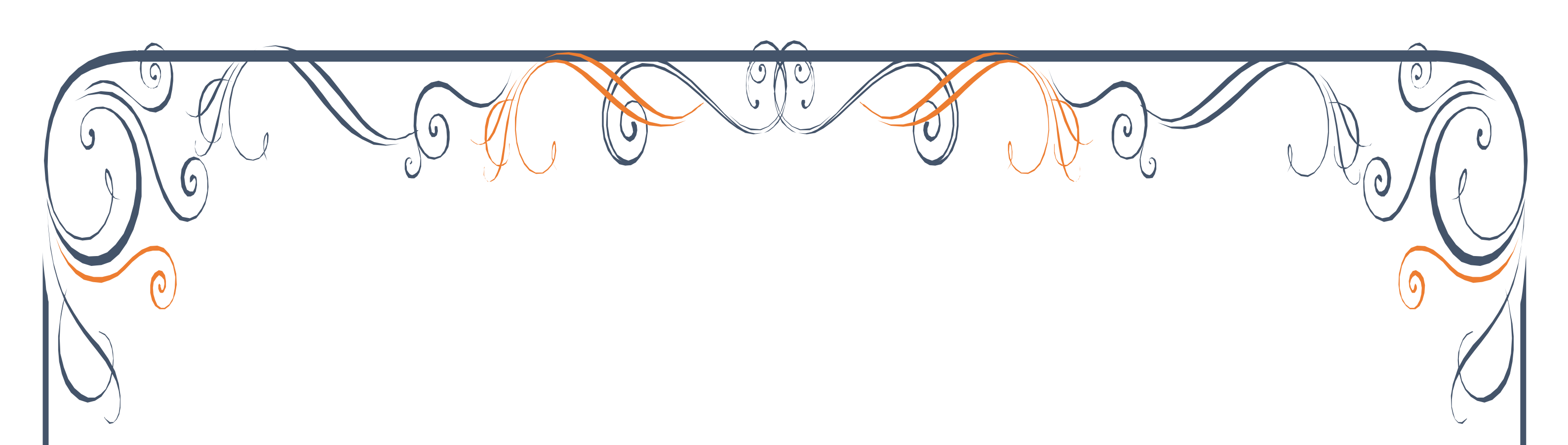


PERFORMANCE CURVES

شكل (٩ ــ ٨)

كما يلاحظ أن الجودة الميكانيكية تتزايد بازدياد الحمل ، نظراً لأن الفقد الميكانيكى يكاد يكون ثابتاً تقريباً .

الاستهلاك النوعى للوقود يزيد بسرعة بالنسبة للقدرة الفرملية عنه بالنسبة للقدرة البيانية عند تخفيض الحمل ، وذلك نظراً لثبوت فقد الاحتكاك تقريباً .



ملحوظـــــة :

تعرف السرعة الاقتصادية بأنها السرعة التى يكون عندها المعدل النــوعى لاســتهلاك الوقود أقل ما يمكن ، وتكون القدرة حينئذ نسبة من القدرة الكلية (عنــد حــوالى ٩٠% بالنسبة للمحركات الديزل الرئيسية) وعندها تكون الكفاءة الحرارية أعلى ما يمكن .

والشكل (٩ ــ ١٩أ) يمثل منحنيات الأداء لمحرك ديزل رباعى متوســط الســرعة MAN 6L58 / 64 بالمواصفات التالية :

ــ القدرة الحصانية القصوى ٧٢٩٠ كيلووات = ٩٩٠٠ حصان .

ــ الضغط المتوسط الفعال ٢٠,١٥ بار .

ــ السرعة القصوى ٤٢٨ لفة / دقيقة .

ــ يعمل على الوقود الثقيل لزوجة تصل إلى ٧٠٠٠ ثانية ريدوود عند ٣٨°م .

ومنه يتضح أن أقل معدل نوعى لاستهلاك الوقود ١٢٦ جم / حصــان . ســاعة عنــد ٨٥% من الحمل الكلى ، وعند الحمل الكامل يكون :

ــ ضغط الانضغاط ١٠٠ بار .

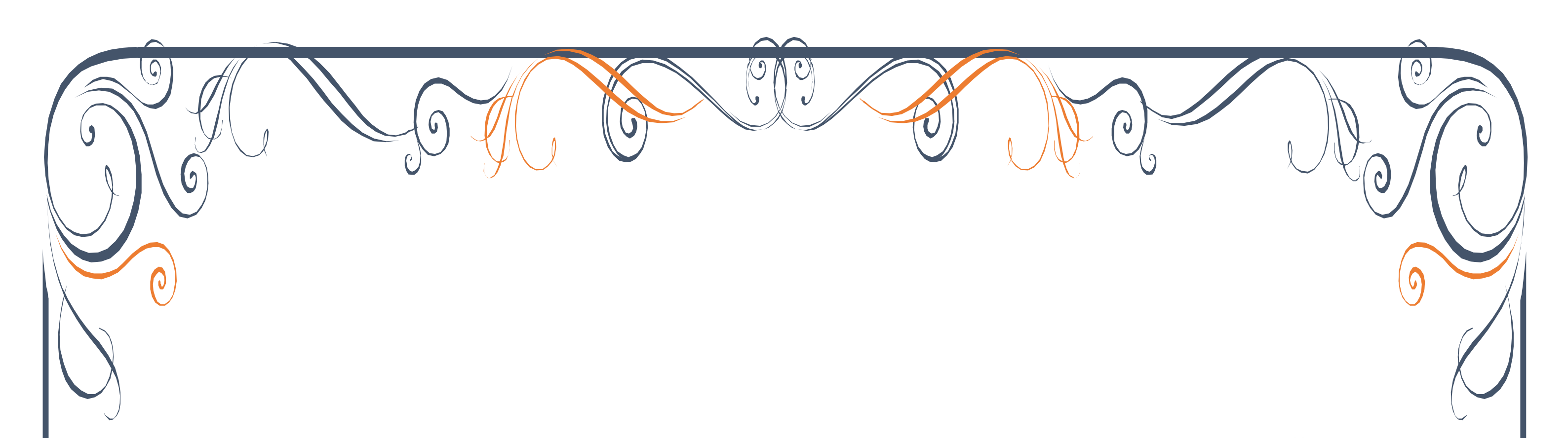
ــ أقصى ضغط ١٤٠ بار .

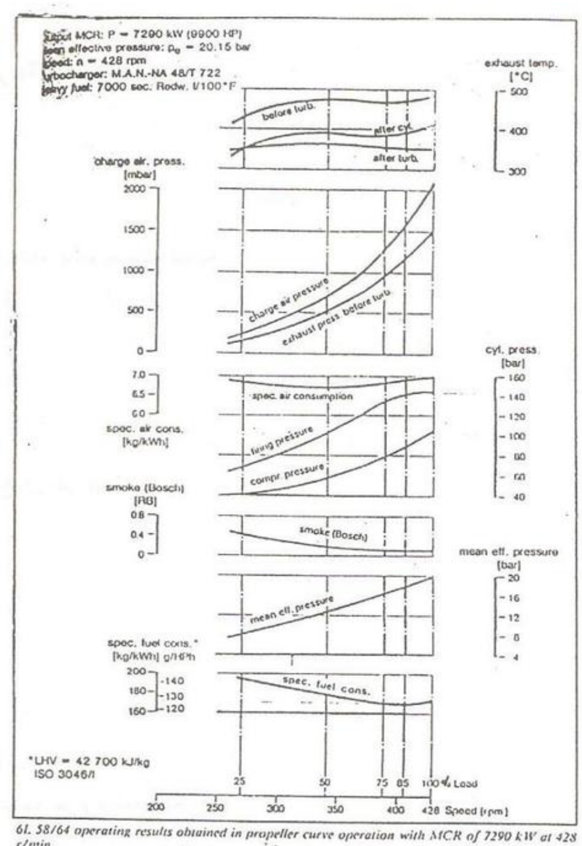
ــ ضغط الشاحن التوربينى ٢ بار .

ــ درجة حرارة العادم بعد الاسطوانة ٤٢٠°م .

ــ درجة حرارة العادم قبل التوربينة ٤٧٥°م .

ــ درجة حرارة العادم بعد التوربينة ٣٥٠°م .





61. 58/64 operating results obtained in propeller curve operation with MCR of 7290 kW at 428 r/min.

منحنيات الأداء لمحرك رباعي متوسط السرعة

شكل (٩ ـ ٩ أ)

والشكل (٩ـ ٩ ب) يمثل منحنيات الأداء لمحرك ديزل ثنائى الأشواط ، بطئ السرعة RND . ويلاحظ أن أقل معدل نوعى لاستهلاك الوقود ١٥٠ جم/حصان .ساعة عند حوالى ٨٥% من الحمل الكلى ، وباقى البيانات يسهل الحصول عليها من المنحنيات .



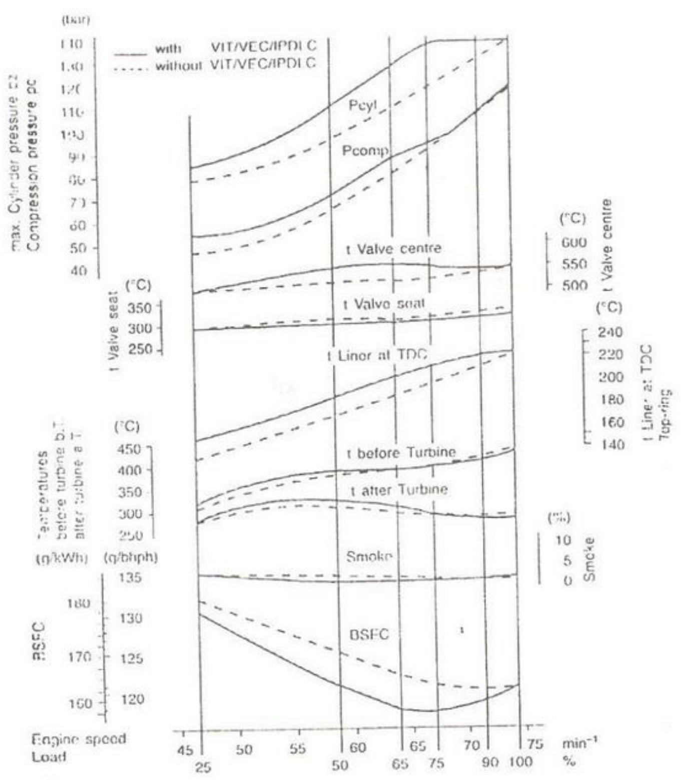


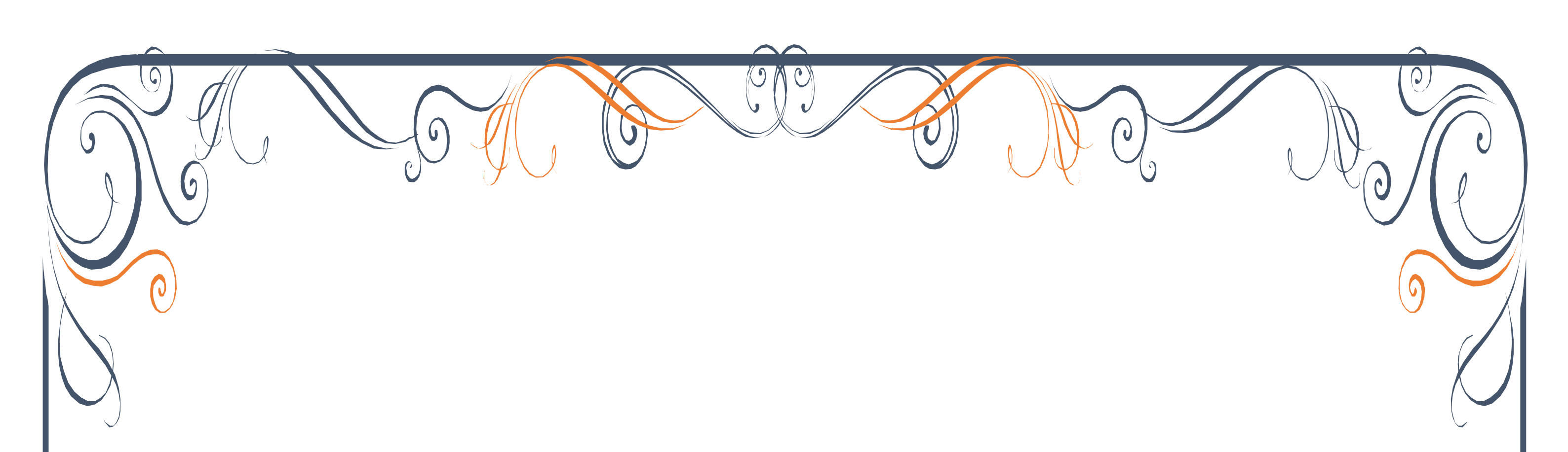
Figure 12.21 Influence of the VIT/VEC combination (solid line) compared with results without VIT/VEC (dashed line) on the performance characteristics of a 7RTA84T engine. The engine has an RI rating of 27 160 kW at 74 rev/min and exploits an exhaust gas power turbine

منحنيات الأداء لمحرك ثنائى بطئ السرعة

شكل (٩ _ ٩ ب)

(٩ ـ ٦) قدرة المحرك الديزل Engine Rating

هى القدرة الفرملية التي يذكرها الصانع فى مواصفاته والتى يعطيها المحرك عند سرعة معينة ، وهى تتحدد على أساس إمكانية الاحتراق الكامل والتبريد المطلوب للتخلص من الحرارة الزائدة . وليكن معلوماً أنه لزيادة القدرة ، يجب زيادة الوقود حتى يصبح الاحتراق غير كامل ، وكذلك يصبح التبريد غير قادر على التخلص من الحرارة الزائدة .



ويعبر عن ذلك بالضغط المتوسط الفعال وقد وصلت القيم إلى ٢٤,٥ بار بالنسبة المحركات رباعية الأشواط ، و ١٨ بار بالنسبة للمحركات ثنائية الأشواط ، وتعرف حدود التشغيل للمحرك بـ M.C.R. وتكون عند أقصى سرعة، أى أن القدرة ١٠٠% ، والسرعة ١٠٠% ، ويرمز لها عادة بالرمز R_1 .

٩ ــ ٦ ــ ١ : فكرة عن المرونة فى تحميل المحرك الديزل الرئيسى :

Flexibility concept:

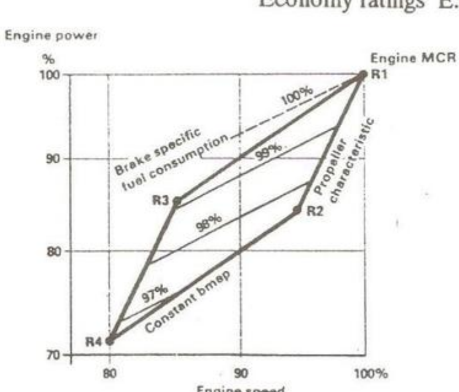
من الخطوات الهامة لتحسين اقتصاديات محركات الديزل البحرية ، هو إدخال فكرة الكرت المرن Flexible diagram .

كان قديماً تحدد القدرة المستمرة القصوى M.C.R. ومعها القدرة الاقتصادية E.R. عند سرعة أقل . ولكن هنا تكتمل القدرة المستمرة القصوى بقدرات اقتصادية أخرى Economy ratings ــ أى قدرات أقل عند سرعات أقل . وقد أصبحت ثلاثة ليسهل مجال الاختيار للأكثر مناسبة .

وهذا يتيح تكيف المحرك الديزل لمواصفات ترسانة البناء للحصول على أعلى كفاءة دفع للسفينة ، وكذلك على مدى تشغيل واسع دون الاحتياج إلى محانير معينة .

٩ ــ ٦ ــ ٢ : القدرات الاقتصادية : Economy ratings E.R.

بالاحتفاظ بقيمة أقصى ضغط P_{max} عند الأحمال الجزئية ، أمكن تقليل المعدل النوعى لاستهلاك الوقود (م.ن.ا.و) وتعرف عندها حالات التشغيل بنقط التشغيل الاقتصادى Economy ratingكشكل (٩ ــ ١٠) ويلاحظ أنه عند كل من النقط هذه يكون التشغيل مثالياً ــ هذا مع الأخذ فى الاعتبار أن يكون التحميل جزئى على منحنى الرفاص .



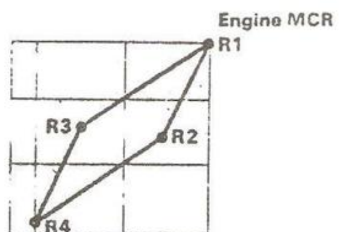
شكل (٩ ــ ١٠)

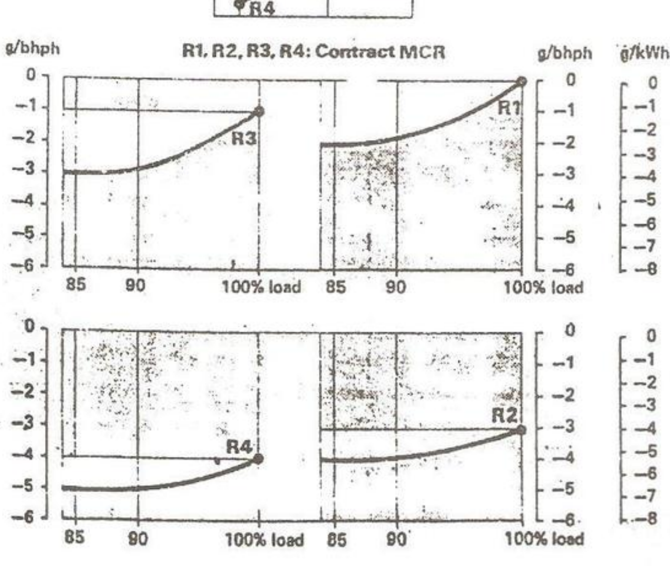




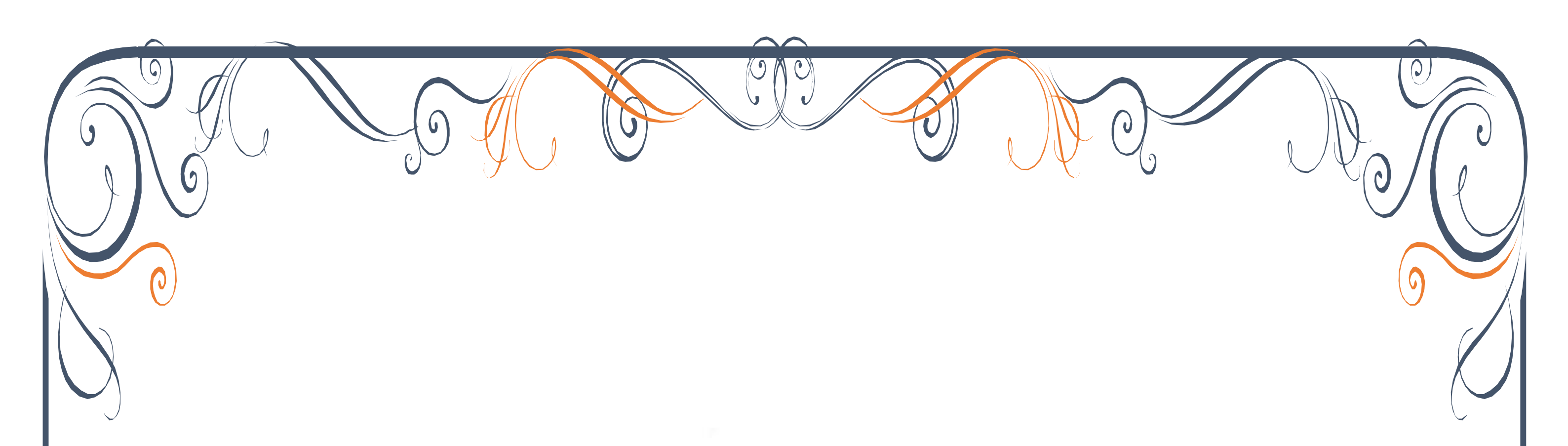
ونظراً للاحتفاظ بقيمة أقصى ضغط عند السرعات الأقل ، يقل المعدل النوعى لأستهلاك الوقود (م.ن.أ.و) كما يتضح من الشكل (٩ – ١١) . ويتأتى ذلك باستخدام آلية V.I.T كما سيرد بعد فى (١٧ – ٣ – ١) .

RTA relative specific fuel consumption
at part loads, propeller characteristic





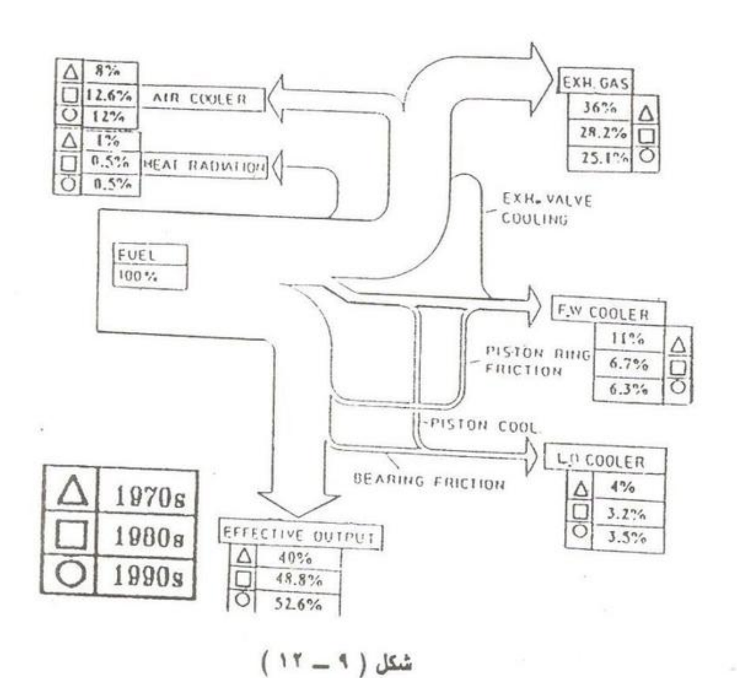
شكل (٩ – ١١)



(٩ ـ ٧) الاتزان الحرارى Heat-balance

يتحول في المحرك جزء فقط من الحرارة الكلية المعطاة إلى شغل مستفاد ، بينما يفقد الجزء الباقى مع غازات العادم ووسط التبريد . والشكل (٩ – ١٢) يوضح مكونات الاتزان الحرارى بالتفصيل عند الحمل الكامل وهى قد تكون فى الحدود التالية فى المحركات الحديثة : ◯

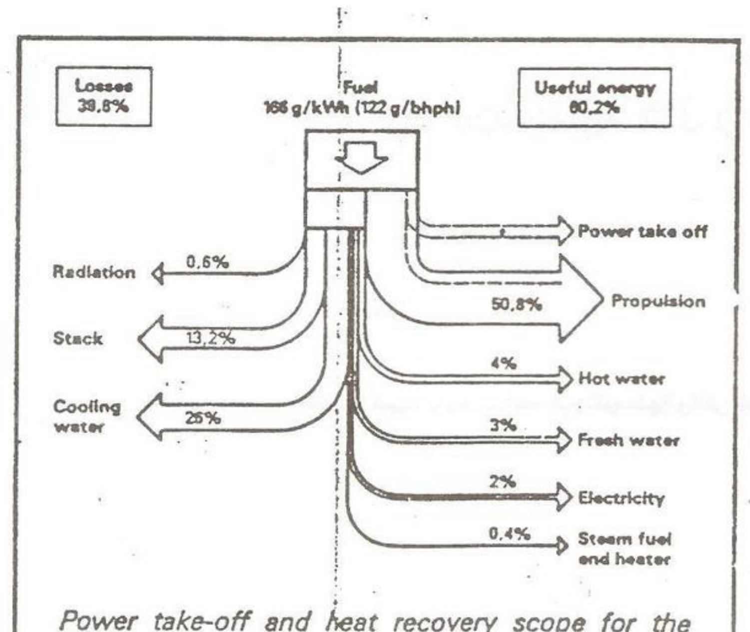
- Brake power 52.6 %
- Exhaust 25.1 %.
- Cooling 21.8 %.
- Radiation 0.5 %.



شكل (٩ ـ ١٢)



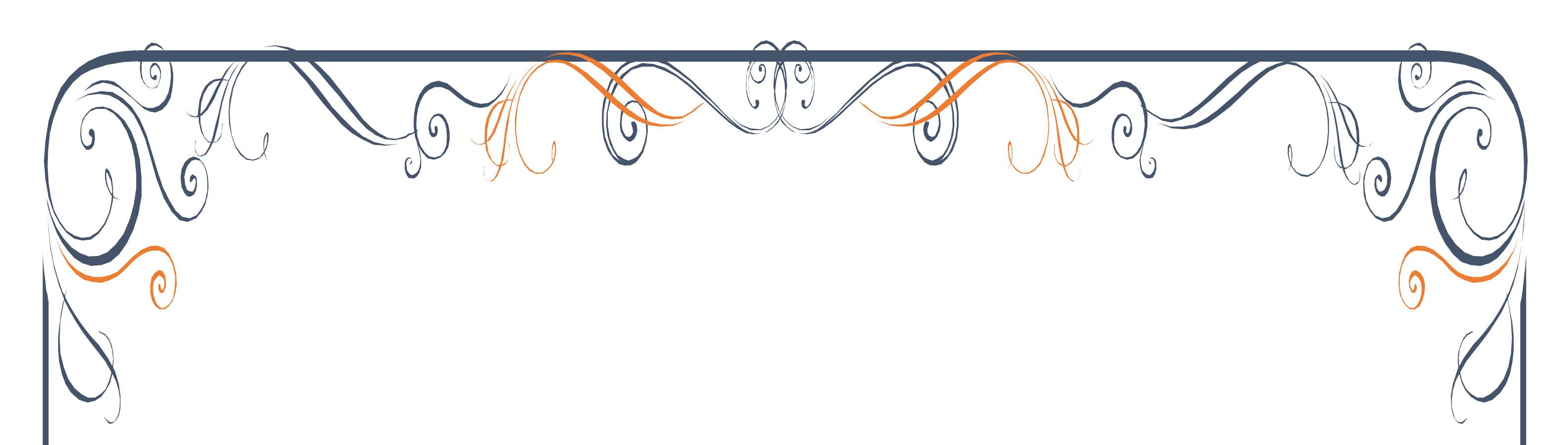
بالرجوع للشكل (٨-١٥جـ) يتضح كيفيه الاستفادة من الطاقة الوفيرة في غازات العادم، وعليه يكون الاتزان الحراري كما هو في الشكل (٩-١٣)، حيث يوضح خريطة الاتزان الحراري للمحرك Sulzer RTA-84، ومنه نري أن الطاقـه المستـفـاده تصل إلي ٦٠,٢٪، وموزعة كما يتضح من الشكل.



Power take-off and heat recovery scope for the RTA series (chart refers to RTA 84 model on R4 rating, 85 per cent engine load).

*Sulzer claims that a thermal efficiency of 50 per cent will be realised and commercially offered for the first time in the history of prime mover development. *Power take-off is equivalent to 9·2-16·1 per cent of the contracted maximum continuous rating, depending on the number of cylinders.*

شكل (٩-١٣)



<u>وتوجد بعض النقاط التى يجب الإشارة إليها وهى :</u>

١. يعمل الشاحن التوربينى بغازات العادم ، الذى يرفع القدرة الفرملية دون أى استهلاك من قدرة المحرك .

٢. الفرق بين القدرة البيانية والقدرة الفرملية لا يفقد فقط فى الاحتكاك بل أيضاً فى إدارة عامود الكامات والطلمبات والأجهزة الملحقة على المحرك .

٣. يشتمل فقد التبريد على الطاقة الحرارية الناتجة من الاحتكاك .

٤. استخدام غلاية العادم Exhaust-gas boiler يرفع كفاءة المحطة plant ككل بينما لا يؤثر على كفاءة المحرك .

٥. فقد العادم يعتبر أكبر طاقة مفقودة تشد الانتباه لاستعادتها ، كما أنه فى الآونة الأخيرة تم النظر للاستفادة من فقد التبريد . .

أســــــئلة

١. أشرح معنى الكفاءة الحرارية والكفاءة الميكانيكية ــ أعط قيم لكل منها واذكر كيفية تحسينها ؟

٢. ما هى القدرة البيانية ؟ اشرح بالتفصيل كيفية تقديرها .

٣. أوصف جهاز المبين واشرح كيفية أخذ الكرت البيانى وما هى البيانات الواجب تسجيلها على بطاقة المبين .

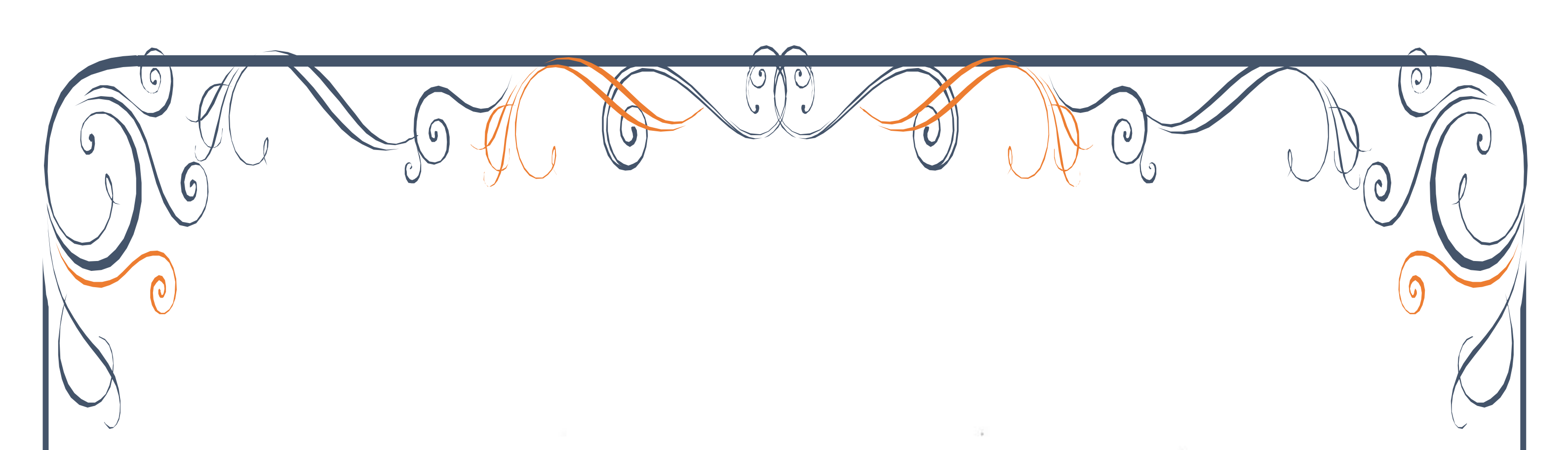
٤. عرف القدرة البيانية ، القدرة الفرملية ، الكفاءة الميكانيكية .

٥. أعط فكرة عن الجهاز المستخدم فى قياس القدرة الفرملية ، واذكر طريقة الحساب .

٦. ما المقصود بالاستهلاك النوعى للوقود ؟ أعط قيم له ــ ما هو التأثير على هذه القيمة عند تقليل السرعة بالنسبة لمحرك ديزل رئيسى ومحرك ديزل لمولد كهربى .

٧. ارسم بعض المنحنيات التى تبين أداء المحرك الديزل واذكر الخصائص الهامة .

٨. ما المقصود بالاتزان الحرارى لمحرك ديزل ؟ ارسم تخطيطياً يوضح مكوناته بالتفصيل .



الباب العاشـــر

تشغيل محركات الديزل والعناية بها

Operation and maintenance of diesel-engines

(١٠ ـ ١) تشغيل محركات الديزل البحرية

Operation of marine diesel engines

إذا تم تشغيل محركات الديزل البحرية بحرص وانتباه فيمكن أن تعمل لمدد طويلة بدون متاعب حيث أنه يتوفر فيها قوة التحمل العالية بالرغم من ظروف التشغيل القاسية .

وقد تتعرض أجزاء المحرك للكلل أو التعب Fatigue نتيجة الاجهادات الميكانيكية والحرارية الواقعة عليها بحيث يجعل من المهم جداً ملاحظتها ليس فقط من وجهة نظر المصمم ولكن من مراقب التشغيل أيضاً .

بالرغم من الاحتياطات المأخوذة في تصميم محركات الديزل ، إلا أنه دائماً ما يحدث التآكل أو الشروخ ، فمثلاً عملية بدء الحركة بالهواء البارد تحدث تغير سريع فى المنحدر الحرارى وتجعل رأس الاسطوانة عرضة لحدوث شروخ ، كذلك كل لفة للمحرك تعرض الأجزاء المتحركة للبرى .

وأثناء التشغيل يجب أن نتوقع ظهور بعض الشروخ أوالعيوب أو البرى ، ولكن إذا اتبع روتين الصيانة الوقائية ونظام سليم فى توفير قطع الغيار على السفينة فلا يكون هناك أى صعوبات فى الإصلاح الفورى .

كما أن التشغيل أو الصيانة بدون خبرة كافية قد لا يظهر فى المراحل الأولى ولكن ذلك يظهر تماماً فيما بعد ويصبح المحرك غير قادر على تحمل الأحمال ، ولذلك يجب اتباع تعليمات الصناع تماماً فى التشغيل والعمرات ومعالجة أى عيوب قد تظهر على الفور .

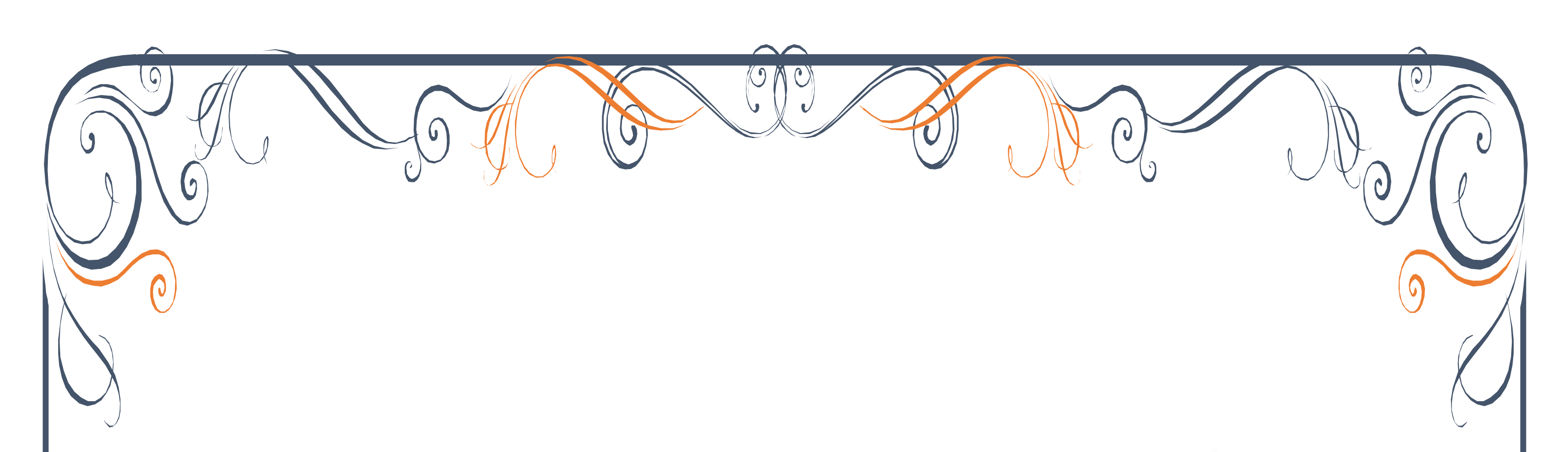
ودائماً ما يوفر الصانع كتالوج التعليمات Instruction-book وفيه جميع البيانات والتفاصيل عن تشغيل وصيانة المحرك .

<u>١٠ ـ ١ ـ ١ : إعداد المحرك للتشغيل</u> Preparation for starting engine

يجب تجهيز المنظومات المختلفة كل على حده كما يأتى :

<u>أولاً : وحدة التبريد :</u> Cooling-water system

يجب التأكد من امتلاء دائرة التبريد وسريان المياه وذلك بفتح جميع الصمامات فى



طريق مجرى المياه . وإذا استعملت طلمبات مستقلة فى إدارتها أو استعملت صهاريج لتوريد المياه بالتثاقل فيلزم التأكد من تدفق المياه قبل بدء الحركة ، حتى يمكن التخلص من الهواء الذى ربما يتواجد بالمواسير .

كما يجب مراعاة الآتى:

أ ـ تسخين مياة التبريد عن طريق فصل المبردات وتوصيل مياة تبريد المولدات أو تشغيل المسخنات .

ب ـ تشغيل منظومة تبريد الحواقن .

جـ ـ فحص جميع الوصلات أو الجلندات للتأكد من عدم وجود تسريب .

ء ـ ملاحظة خارج تبريد المكابس للتأكد من سلامة السريان ودرجة الحرارة .

ثانياً : وحدة الوقود : Fuel system

يجب تصفية المياة أو الرواسب من صهريج الوقود اليومى وتشغيل مضخة الرفع Booster ويملأ خط الوقود ويصرف منه الهواء كلية . ويجب التأكد من نظافة الفلاتر ووصول الوقود إلى الحواقن بعمل Priming ، ويبدأ التسخين على دائرة الوقود الثقيل .

ثالثاً : وحدة التزييت : Lubricating system

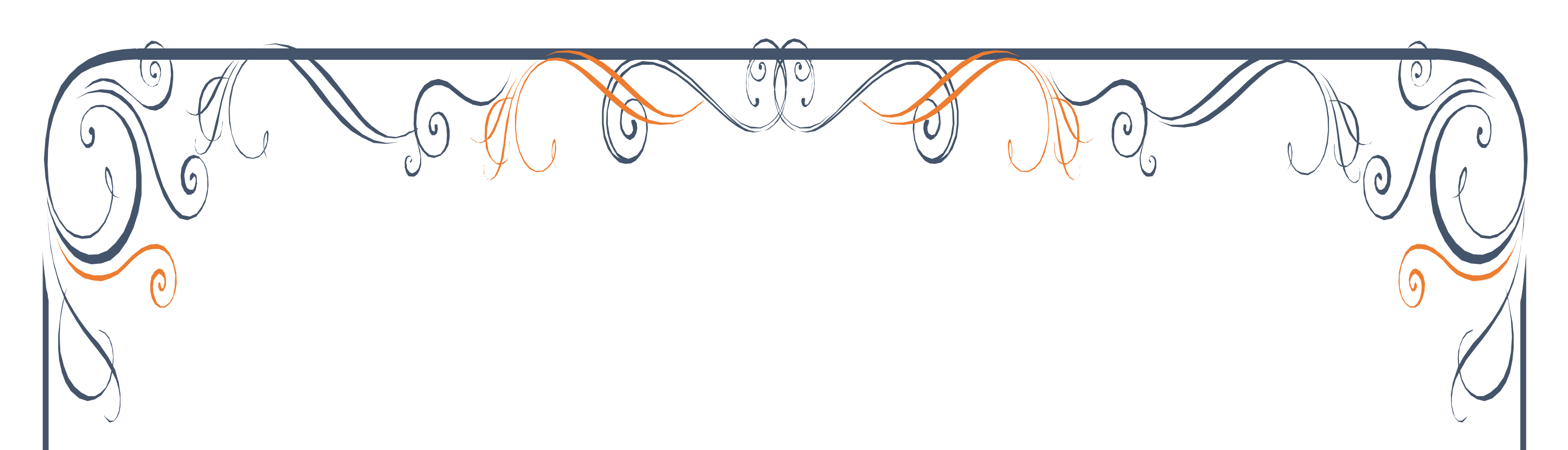
يختبرمنسوب الزيت بالصهريج وتشحم جميع الأجزاء يدوياً ، وتدار طلمبات الزيت الكهربية للعمل على تدفق الزيت ووصول طبقة منه للكراسى وكذلك تشغيل منقيات الزيت . وتملأ طلمبة تزييت الاسطوانات وتلف باليد عدة لفات ويختبر سريان الزيت هذا مع التأكد من نظافة فلاتر الزيت .

ملحوظـــة :

- يتم تجهيز مكتشف الضباب (أبخرة الزيت) للتشغيل. Oil-mist detector.
- يمكن تجنب مبرد الزيت إذا لزم الأمر فى بداية التشغيل .
- يتم التأكد من مستوى زيت كراسى الشاحن أو تشغيل الطلمبة الخاصة به
- يراعى مستوى الزيت فى صهاريج عكس الحركة والمنظم .

رابعاً : وحدة هواء بدء الحركة : Starting air-system

يتم تشغيل ضـاغط الهواء وتزود اسطوانات الهواء المضغـوط إلـى ضـغط



التشغيل (٣٠ كج / سم٢) وتصفى من أى مياه تكون متجمعة بها ، ويفتح صمام الهواء الحاكم ويختبر جهاز عكس الحركة عدة مرات ، ويتم تليين جميع الصمامات يدوياً ، كما يتم تزييت جميع الروافع الخاصة بها .

وعامة يجب ملاحظة ما يلى :

١. إحكام جميع الوصلات على خطوط المياه والوقود والزيوت .
٢. تصفية مبرد ومجمع الهواء من أى مياة متكثفة .
٣. يتم لف المحرك بواسطة مجموعة التقليب لفتين مع فتح جزرات المبين والتأكد من حرية الحركة وعدم وجود مياة بالإسطوانات ثم فصلها .
٤. يختبر أداء التلغراف ، ويمكن تجربة المحرك " للأمام - والخلف " بالهواء بعد موافقة غرفة القيادة والتأكد من عدم وجود مانع لذلك .
٥. تشغيل مروحة الكسح المساعدة (إن وجدت) .

ترس التقليب : Turning gear

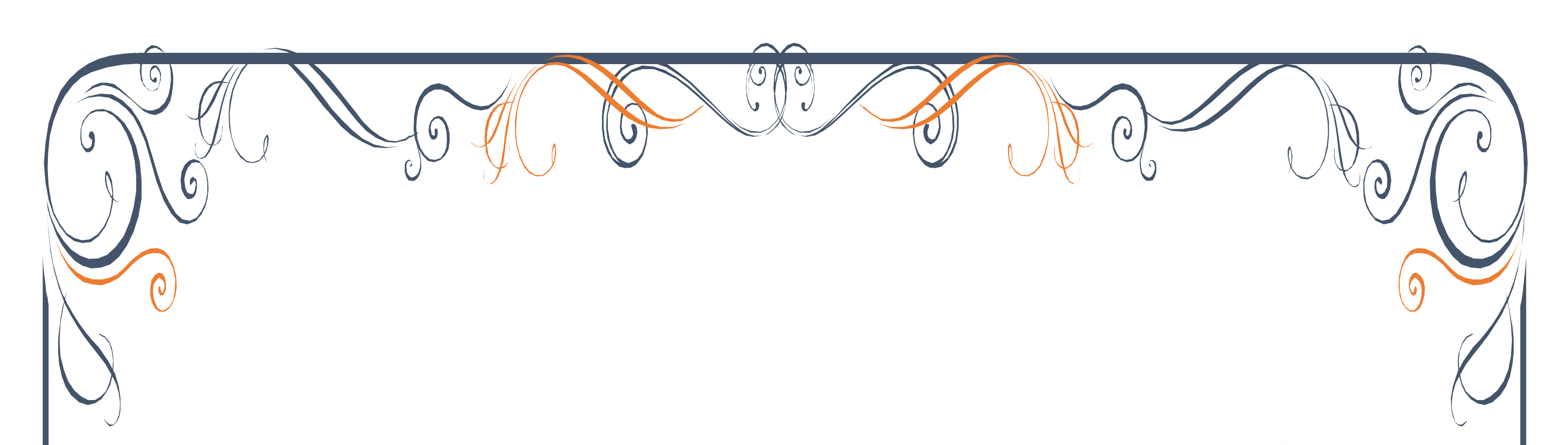
عبارة عن موتور كهربى انعكاسى عليه ترس دودى Worm - gear معشق مع الحدافه وبواسطته يمكن دوران المحرك الديزل (بعد فتح جزرات المبين) وله فوائد كثيرة مثل :

- تقليب المحرك الديزل للتأكد من عدم وجود أى مانع للدوران أو التشغيل
- تقليب المحرك لوضع مجموعة التشغيل فى وضع معين لزوم أعمال الصيانة .
- يستخدم لوضع عمود المرفق فى أوضاع معينة لأخذ الانحراف (عملية الاستقامة) .
- تبريد المحرك الديزل تدريجياً بعد الإيقاف .

١٠ ـ ١ ـ ٢ : تقويم المحرك Engine starting

بعد مراعاة جميع البنود السابقة يمكن بدء تشغيل المحرك متبعاً تعليمات الصانع وطبقاً للأمر الأول على التلغراف المعطى من الممشى لغرفة الماكينات ، توضع يد التشغيل فى الوضع المناسب (أمام ـ خلف) ثم تحرك على " بدء الحركة ـ Start " وهذه الحركة تعمل على رفع صمام المرشد ، فيسمح بمرور الهواء عن طريق الصمام الآلى إلى صمامات المنظم وصمامات التقويم على الاسطوانه . وعندما يأخذ المحرك سرعته يتم دفع اليد مباشرة على الوضع " وقود ـ Fuel " وعندما يتم الحريق تحرك اليد إلى الوضع المناسب للسرعة المطلوبة .

إذا فشل المحرك من القيام على الوقود ، تعاد المحاولة الثانية والثالثة وبعدها يرجع إلى



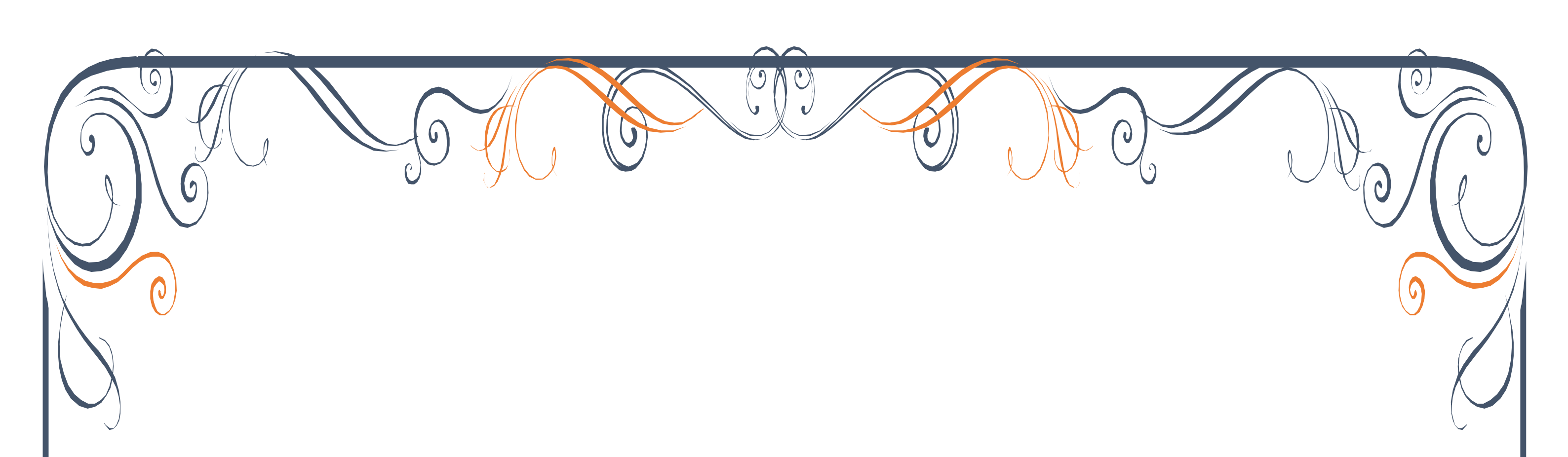
أسباب رفض المحرك التشغيل على الوقود و غالباً ما يكون السبب وجود قفلة هواء Air - lock بخط الوقود ، فيعاد عمل Priming قبل عمل أى محاولة أخرى لتلاشى فقد الهواء المضغوط .

أثناء دوران المحرك عند السرعة المنخفضة يجب ملاحظة الآتى:

- جميع المانومترات والترمومترات وخاصة درجات حرارة العادم للتأكد من أن جميع الاسطوانات عاملة .
- تجس مواسير دخول الهواء للاسطوانات لضمان أن صمامات بدء الحركة غير مزرجنة على الفتح وليس بها تفويت ، فإذا كانت درجة حرارة احداها مرتفعة نسبياً دل ذلك على وجود التفويت ، ويمكن إدارة عمود الصمام على قاعدته لإزالة العيب أو تغييره إذا لزم الأمر فى أقرب فرصة .
- يراعى تزويد الحمل تدريجياً حتى تصل درجات الحرارة إلى المعدل العادى وذلك لمنع حدوث أى شرخ أو قفش نتيجة زيادة الحمل بسرعه . (توقف طلمبة الكسح المساعدة إن وجدت) .

١٠ ــ ١ ــ ٣ : مراقبة المحرك أثناء التشغيل : Keeping watch

- تنفيذ طلبات الممشى فوراً ويسجل أى تغيير فى السرعة أو الاتجاه .
- تسجل الضغوط ودرجات الحرارة كل ساعة فى دفتر أحوال الماكينة .
- يجب البحث عن وجود أى رشح أو وجود أى أجزاء غير محكمة الرباط ، والاستماع إلى أى صوت غريب وإيقافه .
- يجب أن تكون ضغوط ودرجات حرارة مياة التبريد فى الحدود التى توصى بها المواصفات، ويراعى ألا تقل درجات حرارة مياة التبريد الخارجة من الاسطوانات عن ٤٠°م (عند أقل سرعة) وذلك لتلافى زيادة التآكل .
- التأكد من مستوى الوقود والزيت والمياه فى الصهاريج .
- التأكد من سلامة تشغيل الشاحن التوربينى ومراقبة التزييت والتهوية وعدد اللفات.
- للحصول على التزييت الجيد ، يجب المحافظة على الضغط بحيث لا يقل ولا يزيد عن المعدل ، وبقاء درجة حرارة الزيت فى الحدود المناسبة (أى لا تزيد عن ٥٥°م) . هذا ويراعى أن زيادة ضغط الزيت عن المعدل يدل على انسداد



المجارى ، كما أن انخفاض الضغط يدل على تآكل كرسى أو عيب بطلمبات الزيت أو حدوث شروخ بمواسير الزيت ــ أما هبوط الضغط فجأة فدلالة على احتـراق كرسى .

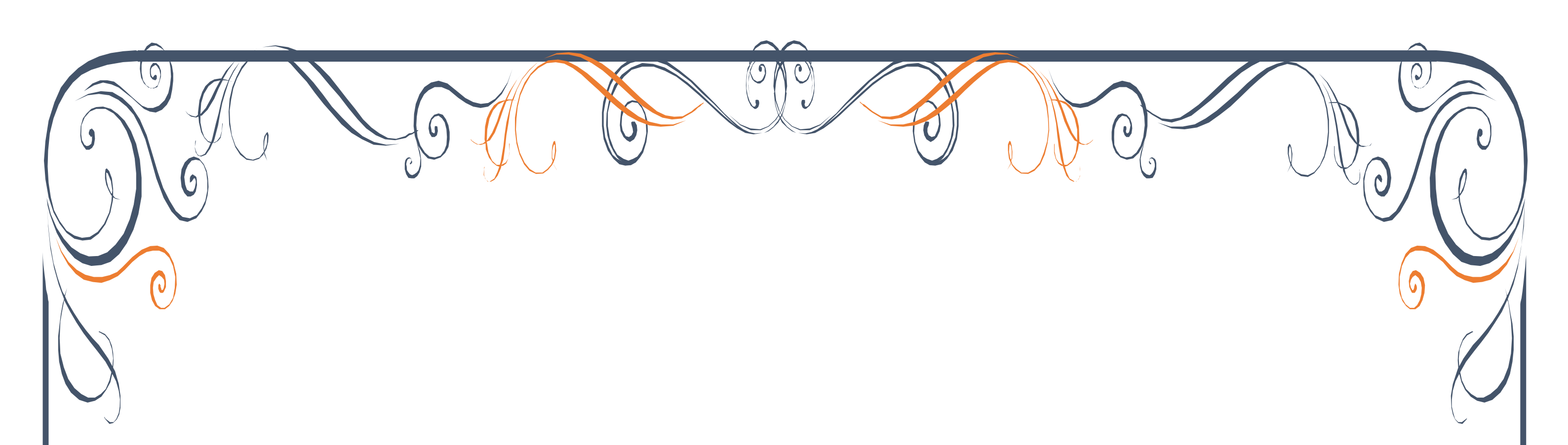
- يجب مراقبة سريان الزيت بالمزايت وكذا خارج تبريد المكابس .
- يجب ألا يزيد الفرق فى ضغط الزيت قبل وبعد الفلتر عن ١/٢ كج/سم٢ وإلا لزم تنظيفه ، كما يجب أن يختبر الزيت من وقت لآخر بأخذ عينة منه وفحصها .
- يعطى العادم ودرجة حرارته مؤشرا عن طبيعة الاحتراق ، فالاحتراق الجيد يعطى عادم لا لون له ، ويمكن التوصل لذلك بضبط الأحمال وتوقيت الحقن ولزوجـة الوقود .
- يراعى دائماً تصفية الشوائب من صهريج الخدمة اليومى للوقود والتأكد من ملئه
- فتح مصافى حيز الكسح من حين لآخر مع التأكد من عدم انسدادها .
- يجب تلاشى تشغيل المحرك على الحمل الزائد Over - load ، وإذا لزم الأمر فلا يجوز زيادة الحمل عن ١٠% أكثر من الحمل الكامل ويستمر لمدة لا تزيد عـن ساعتين يومياً ، ويراعى فى هذه الحالة زيادة معدل التبريد والتزييت حتى يمكن الاحتفاظ بقيم الضغوط ودرجات الحرارة فى حدود التشغيل العادى .
- تؤخذ الكروت البيانية من حين لآخر للتأكد من اتزان المحرك وكفاءة التشغيل .
- يراعى باستمرار ملء اسطوانات الهواء والمحافظة على ضغط التشغيل .
- التأكد من كفاءة أداء المنقيات والفواصل .

ملحوظة : دلائل الأداء الجيد للمحرك الديزل :

- عادم لا لون له وبدون دخان .
- تساوى درجات حرارة العادم والتبريد .
- عدم وجود ذبذبات أو أصوات غريبة .
- ضغط ودرجة حرارة الهواء بعد الشاحن فى الحدود المناسبة .
- ضغط ودرجة حرارة المياه والزيت فى الحدود المناسبة .
- معدل استهلاك الوقود والزيوت كما هو فى سجل الصانع .

١٠ ــ ١ ــ ٤ : إيقاف المحرك Engine stopping

قبل إيقاف المحرك يجب التأكد أولاً من أن اسطوانات هواء التقويم مشحونة تماماً .



يتم تزييت الصمام الآلى وموزع الهواء ، وبمجرد طلب الاستعداد للمناورة ، تفتح بقية الصمامات الخاصة بالهواء وتغلق صمامات التصفية ، ويبدأ تشغيل طلمبة الكسح المساعدة (إن وجدت) .

يرفع الحمل عن المحرك تدريجياً وعادة توقف حركة المحرك بإيقاف حقن الوقود ويجب بعد ذلك إتباع التالى :

- أقفل جميع الصمامات والجزرات للهواء والوقود وفتح المصافى .
- أوقف الطلمبات المساعدة ما عدا طلمبتى الزيت والمياه العذبة الكهربيه ويستمرا فى التشغيل لمدة ٢٠ دقيقة بعد الإيقاف .
- قلل معدل التبريد واستمر لمدة نصف ساعة خلالها يجب إدارة المحرك كل عشرة دقائق بجهاز التقليب مع فتح جزرات المبين .
- أبدأ فى نظافة المحرك وحصر العيوب .
- يمكن البدء فى إصلاح أى عيوب تكون قد ظهرت ولا تتهاون بأى شئ ولو قلت أهميته (مثل تفويت المياه أو الهواء أو الزيت أو الوقود) .
  ويحظر فتح أبواب الكارتير إلا إذا تم تبريد المحرك ، حيث تتواجد أبخرة الزيت القابلة للاشتعال ولا تستخدم الإضاءة المباشرة .
- وعند الإيقاف الطويل يراعى التقليب من حين لآخر ، وتشغيل المنقيات ، كما تراعى ضغوط اسطوانات الهواء .

١٠ ـ ٢ بعض الأعطال الرئيسية التى قد تظهر أثناء تشغيل المحرك وأسبابها .

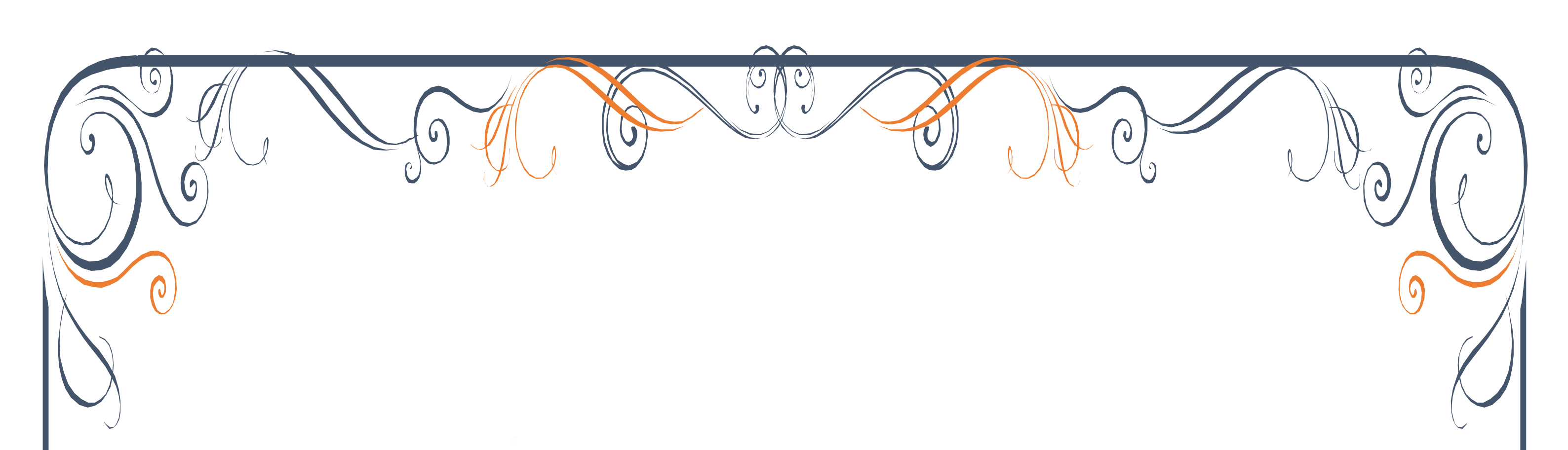
Some running troubles & their causes

أثناء التشغيل أو عند بدء التشغيل قد تظهر بعض العيوب أو الصعوبات التى تعرقل تحقيق الهدف وهو التشغيل السريع والمحافظة على مستوى التشغيل بالكفاءة العالية وتلافى أى عيوب أو أخطاء قد تزيد وتسبب تلف المحرك ، وفيما يلى بعض هذه المتاعب وأسبابها :

<u>ـ عدم دوران المحرك بالهواء وهو بوضع التقويم</u>

Engine refuse to turn when starting lever is pulled

إذا أمكن تقليب المحرك بجهاز التقليب ، فلا توجد عوائق خارجية من ناحية الرفاص



أو داخلية من أحد المحامل أو المكابس ، وعليه فيكون عدم الدوران ناتج عن أحد الأسباب التالية :

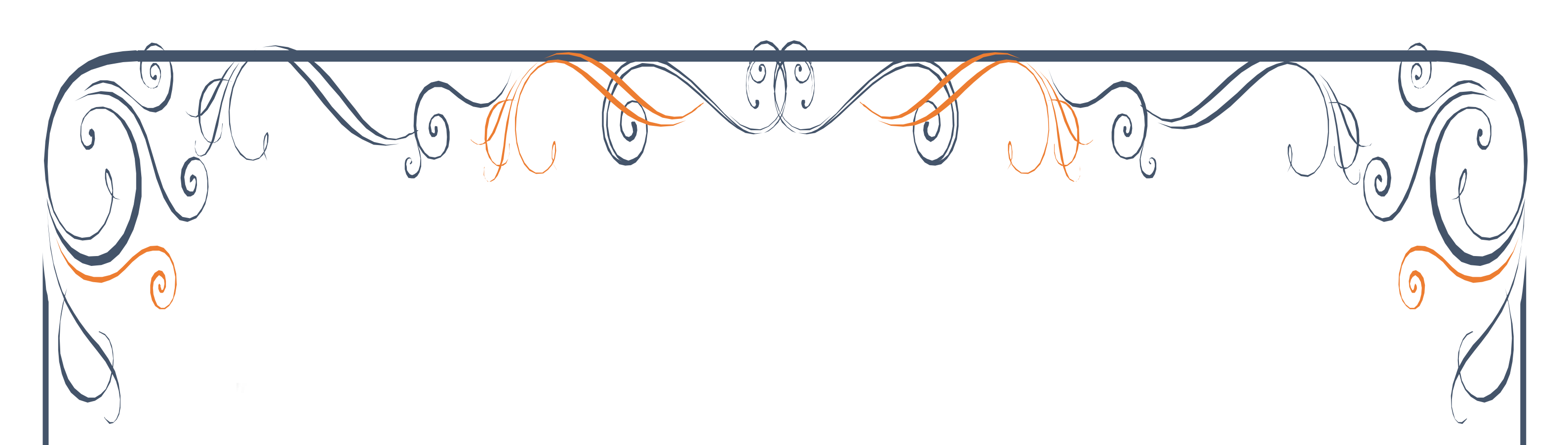
- عدم فصل ترس التقليب .
- عدم فتح صمامات الهواء على الأسطوانة أو الخط ، أو فتحها بدرجة غير كافية
- زرجنة الصمام الآلى وعدم فتحه نتيجة أوساخ متراكمة عليه .
- زرجنة صمام المرشد أو صمامات الموزع .
- وجود تفويت بصمامات بدء الحركة على الاسطوانات أو زرجنتها على الفتح نتيجة الصدأ .
- انخفاض ضغط هواء التقويم أو قلته .
- عدم اتخاذ سرفو موتور عكس الحركة الوضع النهائى له ، والسماح بحركة يد التقويم .

– دوران المحرك بالهواء ورفضه التشغيل على الوقود :

Engine start on air but refuses to pick-up fire

إذا دار المحرك بالهواء ولكن عدم حدوث الاشتعال بعد تحريك ذراع المناورة إلى الوقود يكون نتيجة أحد الأسباب التالية :

- وجود هواء أو أبخرة بمواسير أو طلمبات الوقود .
- وجود عيب بطلمبات الوقود أو صماماتها وكمية الوقود المحقونة قليلة .
- الوقود المستخدم غير مناسب أو يحتوى على مياه أو لزوجته عالية نظراً للتسخين الغير كافى .
- تفويت بطبات التخلص من الهواء Priming على الحواقن .
- انسداد بفلتر الوقود أو الحاقن .
- زرجنة إبرة الحاقن أو انسداد ثقوبه .
- نقص الوقود بالصهريج أو غلق الصمامات على الخط أو الفلاتر .
- انخفاض ضغوط الانضغاطات بالاسطوانات .
- عدم السماح بمد الوقود (بواسطة مجموعة التحكم Auto_cutout) نظراً انخفاض ضغط الزيت أو مياه التبريد .
- عدم تشغيل مروحة الهواء المساعدة .



<u>اشتعال عنيف أثناء التقويم :</u> Violent ignition during starting up

ويمكن أن يكون ذلك نتيجة أحد الأسباب التالية :

- تجمع كمية من الوقود فى الاسطوانه أثناء عمل Priming .
- خطأ فى توقيت الحقن بناء على خطأ فى ضبط الطلمبة .
- تحرك أحد كامات الوقود على عمود الكامات .
- تسييل زائد بإبرة الحاقن .
- وضع يد الوقود على تدريج أكبر من ٣,٥ (فى حالة المحركات السـولزر) أى أن كمية الوقود المحقونة زائدة .

<u>نقص سرعة المحرك :</u> Engine slowing down

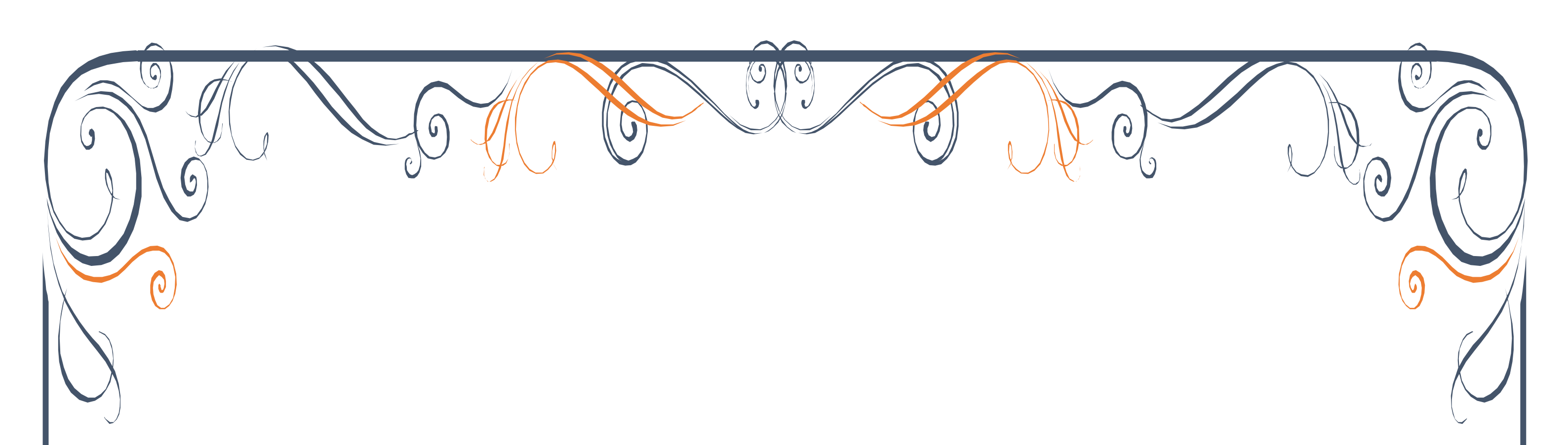
ويمكن أن يرجع ذلك إلى أحد الأسباب التالية :

- عيب بالمنظم (نقص أو تلف الزيت) أو وصلاته .
- قلة كمية الوقود المحقونة (تفويت بكباسات طلمبات الحقن أو انسـداد جزئـى لثقوب الرشاشات أو الفلاتر) .
- تفويت بطنبات التخلص من الهواء Priming على الحواقن .
- وجود مياه بالوقود أو انسداد الفلاتر .
- حمل زائد على المحرك .
- تحميل غير متساو على الوحدات .
- انخفاض ضغط هواء الكسح نتيجة انسداد فلتر الهواء أو اتسـاخ الشـاحن أو المبرد .
- ارتفاع درجة حرارة أحد المكابس أو الكراسى .
- زيادة الضغط الخلفى وانسداد ماسورة العادم .
- زرجنة بأحد صمامات العادم على الفتح .
- مقاومة عالية على بدن السفينة .
- وجود إعاقة على الرفاص أو عموده .

<u>التوقف الفجائى للمحرك :</u> Engine stop suddenly

ويرجع ذلك إلى أحد الأسباب التالية :

- انقطاع الوقود فجأة .



- تسرب مياة مع الوقود بكميات كبيرة .
- دخول هواء أو أبخرة إلى سحب طلمبات الحقن نظراً للتسخين الزائد .
- قفش مكبس أحد الاسطوانات .
- تداخل وسيلة الأمان Cut-out .

دقة أو خبطة فى الاسطوانه Knocking in cylinder

ويرجع ذلك إلى أحد الأسباب التالية :

- المحرك بارد أو عدم التسخين الجيد .
- حقن الوقود مبكراً نظراً لحركة كامة الوقود ، أو ضبط خاطئ لمضخة الوقود .
- الوقود غير مطابق للمواصفات أو التنزير غير جيد .
- عيب بالرشاش نتيجة كسر الياى أو اتساع الثقوب .
- زيادة الخلوص فى بنوز النهايات العليا لأذرع التوصيل .

ظهور دخان بالعادم Smoky exhaust

إذا ظهر دخان بالعادم ، افتح جزرات الفحص للتأكد من أن سبب ذلك يرجع لأحدى الاسطوانات فقط أم للمحرك كله .

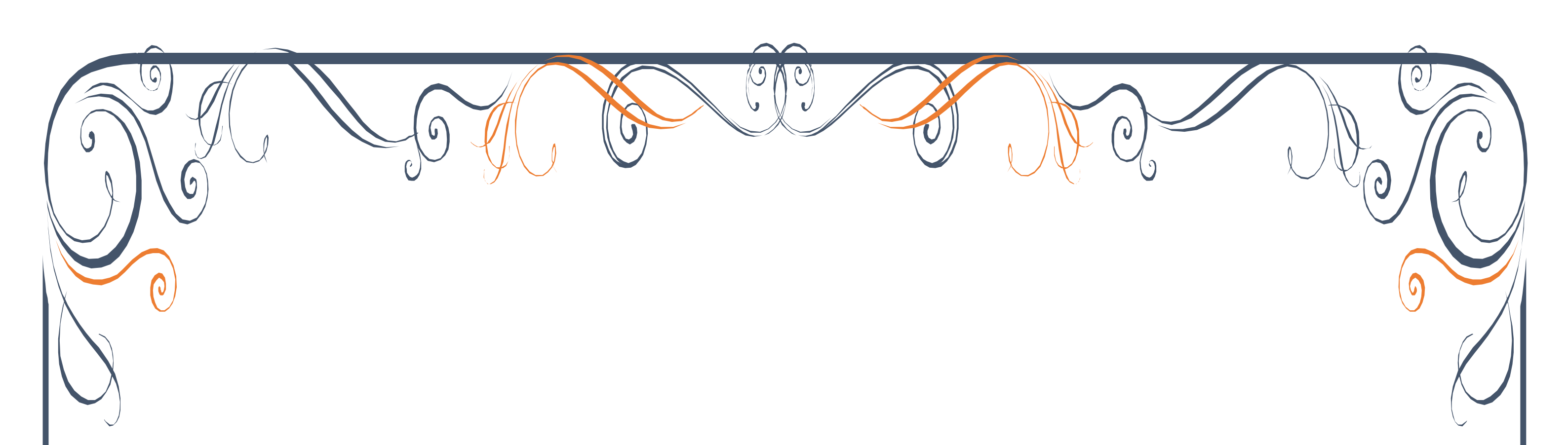
أ) دخان بعادم المحرك (جميع الوحدات) :

ويرجع ذلك إلى أحد الأسباب التالية :

- تحميل زائد على المحرك ويراجع بدرجة حرارة العادم أو بالكرت البيانى .
- تكون كربون على الفوانى أو انسداد الثقوب أو اتساعها .
- استخدام وقود غير مناسب أو ارتفاع لزوجته .
- انخفاض ضغط هواء الكسح نتيجة انسداد فلتر الهواء أو اتساخ التربينة .
- اتساخ أو انسداد بوابات الكسح أو العادم .
- خطأ فى توقيت فتح صمامات العادم .
- تبريد غير كافى للرشاشات .
- انخفاض ضغط الانضغاط نتيجة التسريب .
- خطأ فى ضبط طلمبات الحقن (التوقيت) .

ب) دخان بعادم إحدى الاسطوانات فقط :

ويرجع ذلك إلى أحد الأسباب التالية :



- تحميل زائد على هذه الاسطوانة نتيجة توزيع غير متساوى للحمل .
- تأخير الحقن .
- انسداد ثقوب الرشاش .

انخفاض ضغط الانضغاط Low-compression in cylinder

ويرجع ذلك إلى أحد الأسباب التالية :

أ) فى إحدى الوحدات :

- تفويت بصمامات الحر أو العادم أو جزرة المبين .... الخ .
- تفويت بحلقات المكبس .
- تفويت بجنطة رأس الاسطوانه .

ب) فى جميع الوحدات :

- انسداد فلتر هواء الشحن أو المبرد .
- نقص فى كفاءة الشاحن التوربينى .
- تسريب فى الوصلات لحيز الكسح .

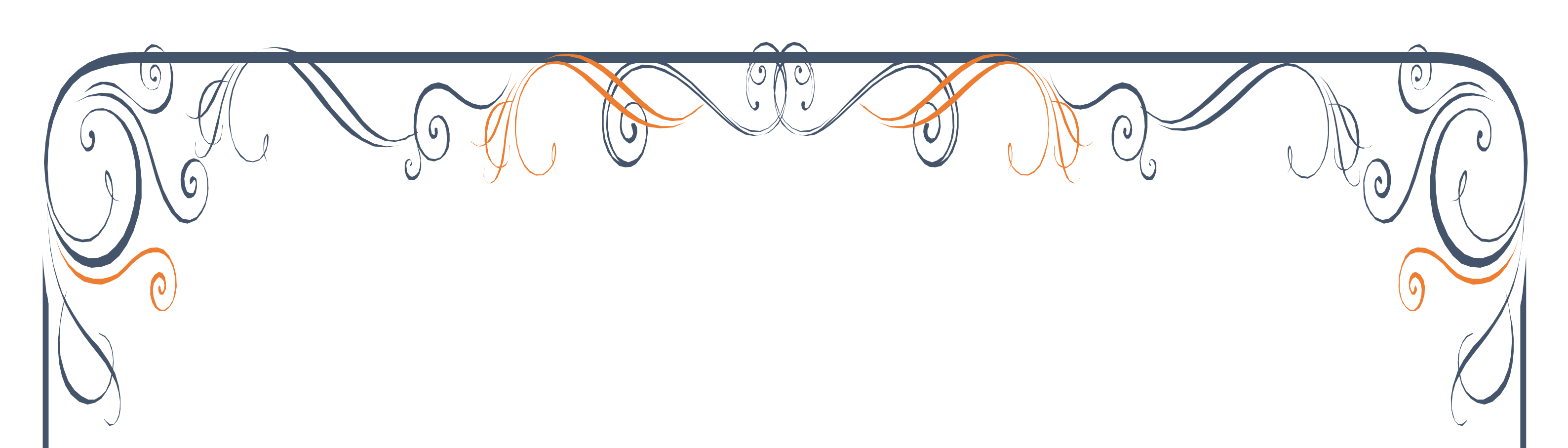
عدم انتظام سرعة المحرك : Engine working irregularly

ويرجع ذلك إلى أحد الأسباب التالية :

- عيب بالمنظم أو تبويش بمجموعته .
- وجود هواء بطلمبة الحقن أو مواسير الوقود .
- زيادة لزوجة الوقود .
- وجود مياه بالوقود .
- انسداد فلاتر الوقود .
- ارتفاع درجة حرارة أحد الوحدات .
- عيب بطلمبة الوقود مثل كسر ياى صمام الطرد .
- عيب بالحاقن مثل انسداد بعض ثقوب الفونيه أو ضعف الياى .
- ارتفاع درجة حرارة الأجزاء المتحركة .
- صراخ الشاحن .

عيوب دورة التبريد : defects in cooling system

إذا كان العيب فى جميع الوحدات فيكون السبب وساخة المبرد أو عدم كفـاءة مضـخة



المياه ، أما إذا كان العيب فى إحدى الوحدات فيكون :

أ ـ ارتفاع درجة حرارة مياة التبريد الخارجة من الاسطوانه بالرغم من ضبط صـمام التنظيم ويرجع السبب إلى :

- تحميل زائد على الاسطوانه .
- رداءة الاحتراق .

ويمكن تحديد ذلك بقراءة درجة حرارة العادم وأخذ الكرت البيانى .

ب ـ ارتفاع درجة حرارة وسيط التبريد الخارج من المكبس بالرغم التشـغيل العـادى للوحدة ودرجة حرارة مياة التبريد الخارجة من الاسطوانه فى الحـدود المعقـول، ويرجع ذلك إلى :

- ضعف التبريد للمكبس (اتساخ الحوارى) .
- انسداد الماسورة .
- تسريب غازات الاحتراق إلى حيز التبريد .

<u>انخفاض ضغط زيت التزييت</u> Insufficient lubricating-oil pressure

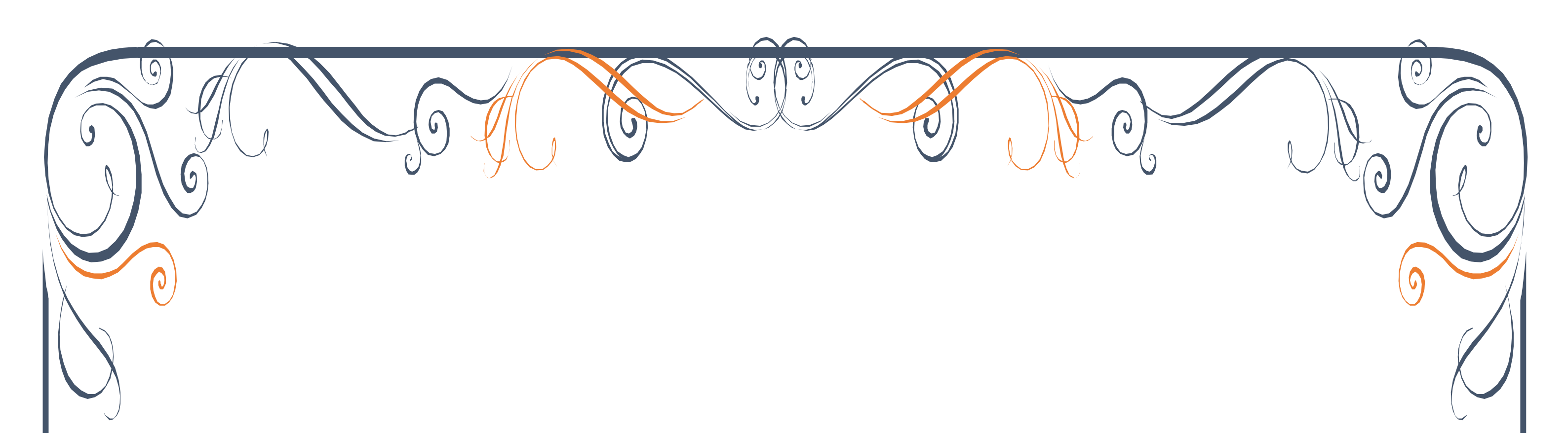
<u>أ) المحامل الرئيسية :</u>

إذا انخفض الضغط فى الدائرة فيمكن ضبطه بواسطة صمام التنظيم ، وإذا لم يرتفع فيجب تشغيل طلمبة الزيت الاحتياطية فوراً ، ويرجع سبب نزول الضغط إلى :

- دخول هواء أو مواد غريبة للطلمبة عن طريق ماسورة السحب .
- عدم إحكام إحدى الوصلات .
- هروب الضغط من أحد المحامل نظراً لزيادة الخلوص .

<u>ب) الاسطوانه :</u>

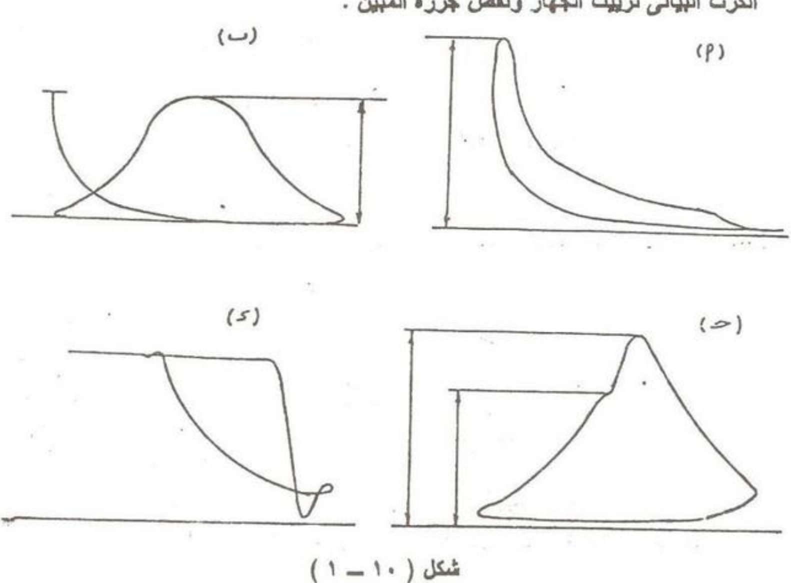
- ويمكن أن ينخفض الضغط نتيجة تفويت بالصمام الغير رجاع بالمزيته أو حدوث شرخ أو كسر لأحد المواسير .



١٠ ـ ٢ أنواع الكروت البيانيه

Types of indicator cards

يمثل الشكل (١٠ ــ ١) الأربعة أنواع من الكروت البيانية والتى يمكن الحصول عليها من المحرك ذات السرعة البطيئة بواسطة جهاز المبين Indicator ، ويراعى قبل أخذ الكرت البيانى تزييت الجهاز ونفض جزرة المبين .

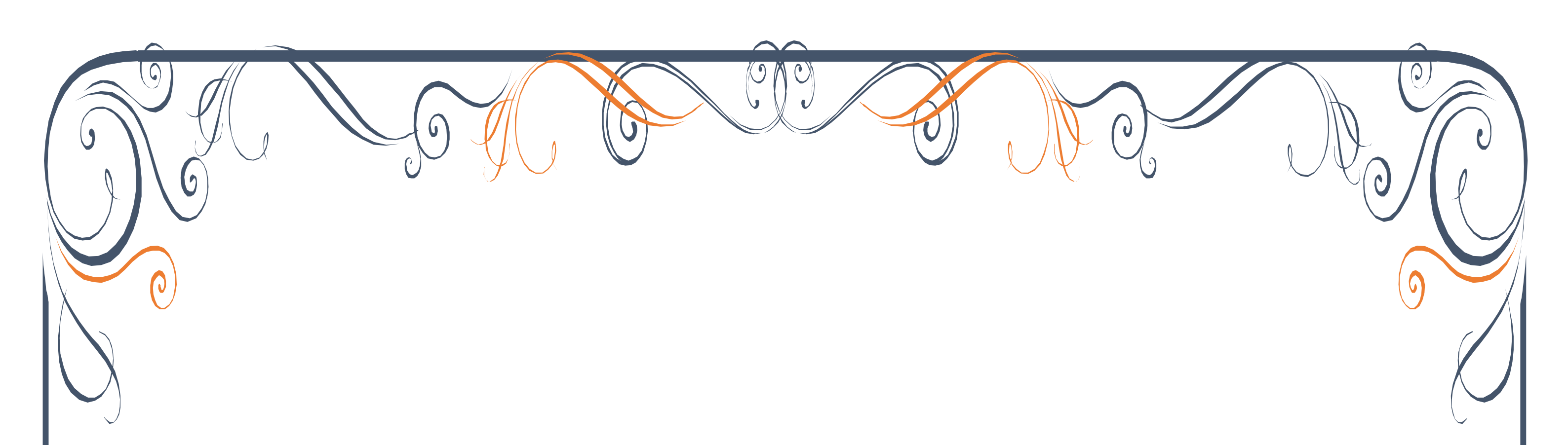


شكل (١٠ ــ ١)

أ ــ كرت القدرة : Power card

ويؤخذ عندما تكون اسطوانة جهاز المبين فى نفس الوجه مع مشوار المكبس ، وتمثل المساحة المحصورة لهذا الكرت الشغل المبذول أثناء الدورة بمقياس رسم معين ، ومنها يمكن حساب القدرة أو الضغط المتوسط البيانى للاسطوانه وكذا أقصى ضغط ، ويوضح عدم انتظام شكل المنحنى عيوب التشغيل .

وبمقارنة مساحات كروت القدرة لجميع الاسطوانات يمكن عمل اتزان بين قدرات الوحدات .



ملحوظـــــــــه :

عدم اتزان التحميل على الوحدات قد يؤدى إلى :

١. ارتفاع درجة حرارة وانهيار بعض الكراسى .
٢. ارتفاع درجة حرارة وقفش المكبس .
٣. ظهور ذبذبات قد تؤدى إلى كسر مسامير تثبيت الفـرش أو انهيـار عمـود المرفق.

ب ـ كرت الانضغاط : Compression-diagram

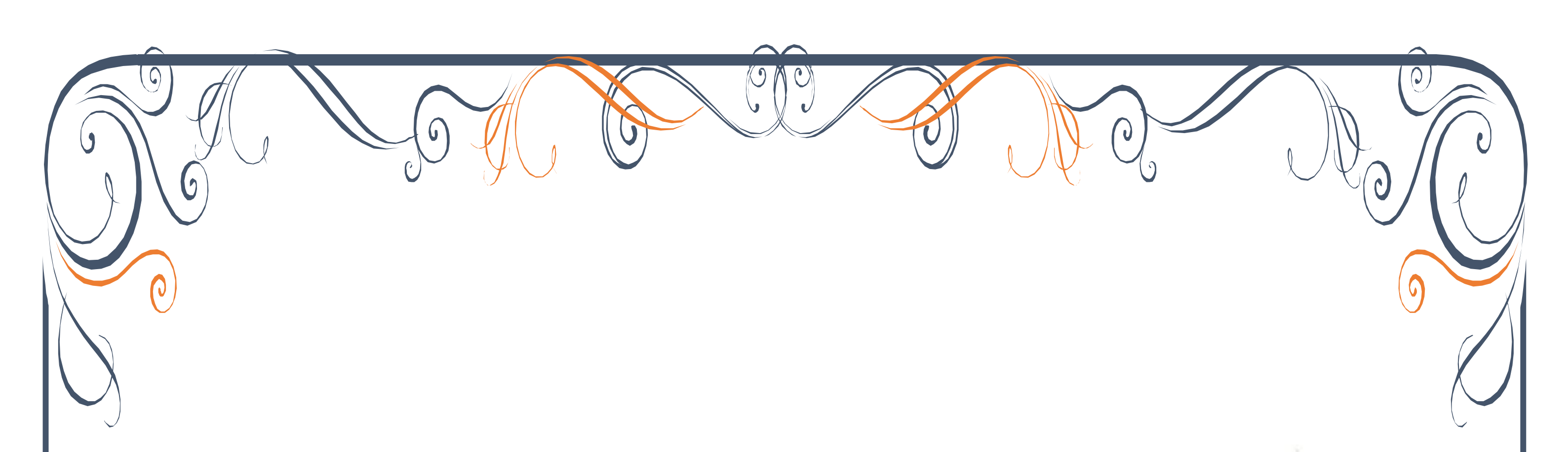
ويؤخذ بنفس الطريقة التى يؤخذ بها كرت القدرة ولكن مع قفل الوقود عن الوحـدة .
ويوضح ارتفاع الكرت ضغط الانضغاط .
إن نقص ارتفاع المنحنى يدل على انخفاض ضغط الانضغاط والذى يتسبب عن وجـود تهريب بين حلقات المكبس والجلبة ، نقص هواء الكسح ، عدم إحكام الصمامات .

جـ ـ الكرت المفرود أو المخالف الوجه : Draw-card or out of phase diagram

ويؤخذ بنفس الطريقة التى يؤخذ بها كرت القدرة ، ولكن تختلف اسطوانة جهاز المبين مع مشوار المكبس بزاوية مقدارها ٩٠° ، ويبين هذا المنحنى تغير الضغط أثناء الاحتراق ، وتوقيت الحقن وكذلك عيوب الاحتراق .

د ـ كرت الياى الضعيف : Light- spring diagram

ويؤخذ بنفس الطريقة التى يؤخذ بها كرت القدرة ، ولكن باستخدام ياى ضعيف ليوضح بمقياس أكبر التغير فى الضغط أثناء مرحلتى العادم والكسح ، وبذلك يمكن تحديد العيـوب خلالهما .



١٠ ـ ٤ استعمال الكروت البيانية للتعرف على عيوب محركات الديزل

Indicator-cards study and faults determination

كروت الانضغاط : Compression-cards

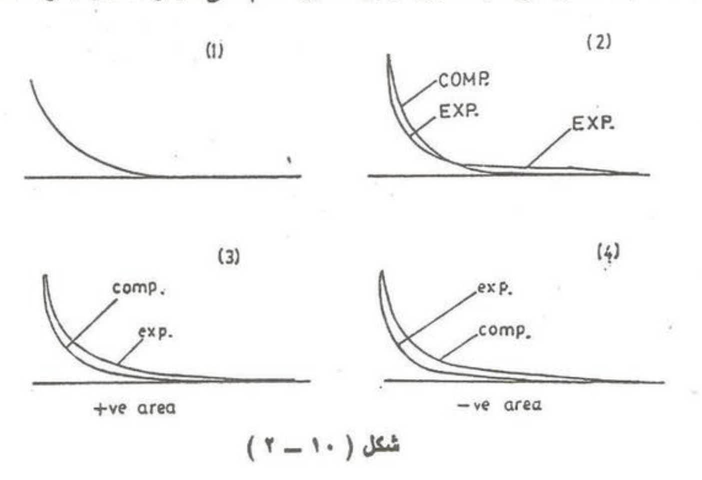
يجب اختبار وضع حدبة المبين (عند توقع تغير وضعها) وذلك بعد العمرات التى تم فيها حل مجموعة التوقيت .

بالنظر للشكل (١٠ ــ ٢) يتضح من الكرت (1) أن خط التمدد ينطبق تماماً على خط الانضغاط ويعتبر هذا كرت إنضغاط مثالياً .

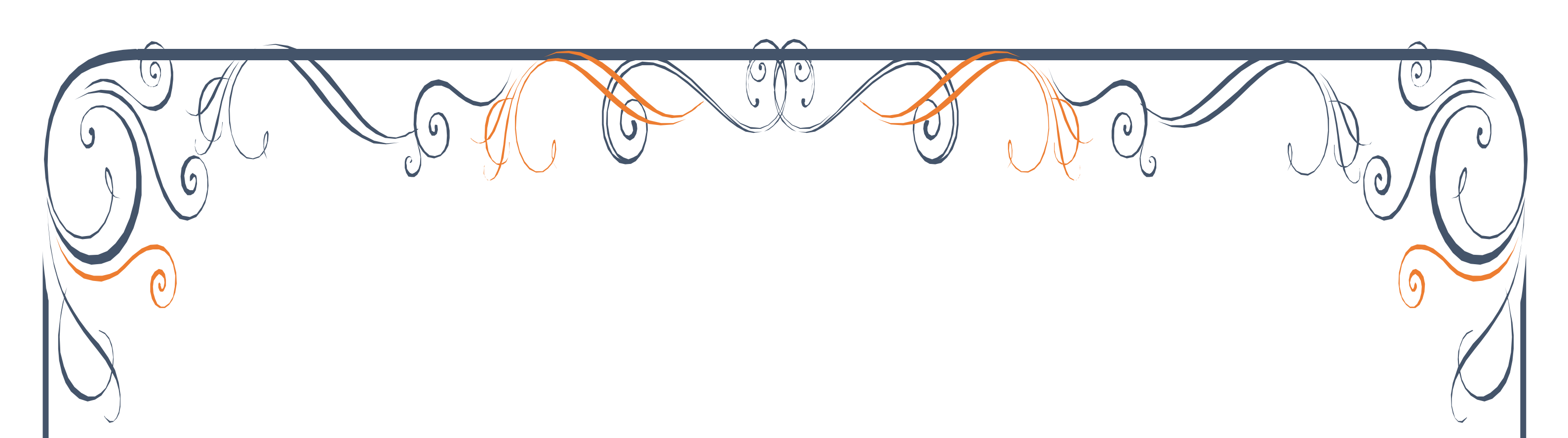
ويتبين من الكرت (2) ربما تكون الحدبة فى الوضع الصحيح ولكن يمكن تعليل التغير فى خط التمدد أنه نتيجة رباط زائد أو غير محكم على مجموعة نقل الحركة للمبين أو روافعه .

كما يتضح من الكرت (3) وجود مساحة موجبة بين خطى التمدد والانضغاط وذلك يمكن أن يعزى لوجود تقديم فى حدبة المبين أو انسداد جزئى بجزرة المبين أو ضعف اليأى ، ويكون ضغط الانضغاط فى هذه الحالة أقل مما يجب .

ويبين الكرت (4) وجود مساحة سالبة من انخفاض خط التمدد عن خط الانضغاط وذلك نتيجة تأخير فى حدبة المبين أو رباط غير محكم على مجموعة نقل الحركة للمبين .



شكل (١٠ ــ ٢)



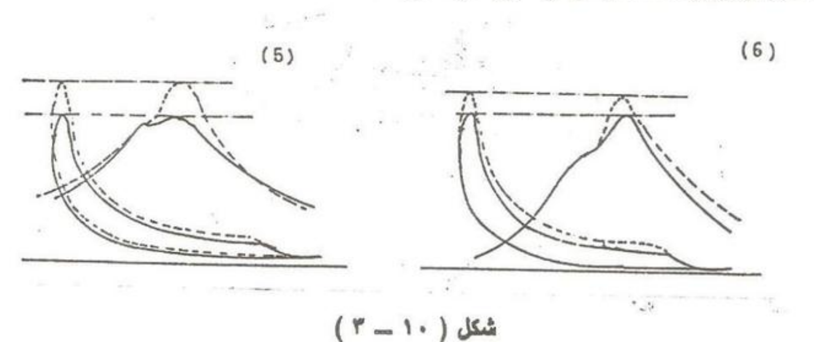
ملحوظـــــــــه :

- يجب أخذ الكرت البيانى والمحرك ساخن وتحت ظروف التشغيل العادية لتكون القراءة أكثر دقة .
- يفيد كرت الانضغاط أحياناً فى اختبار سلامة المبين نفسه وصلاحيته .
- بمقارنة ارتفاع ضغط الانضغاط بالقراءات السابقة يمكن تحديد مدى التفويـت بالشنابر أو الصمامات .
- عدم انتظام شكل الكرت البيانى يوضح عيوب اتشغيل ، فإذا ظهر نفس العيـب فى جميع اسطوانات ، فيكون السبب ـ عامل ـ مشترك مثل حالة الوقـود أو منظومة الشحن الجبرى أو العادم أو التبريد ، أو توقيت خاطئ لعمود الكامات.

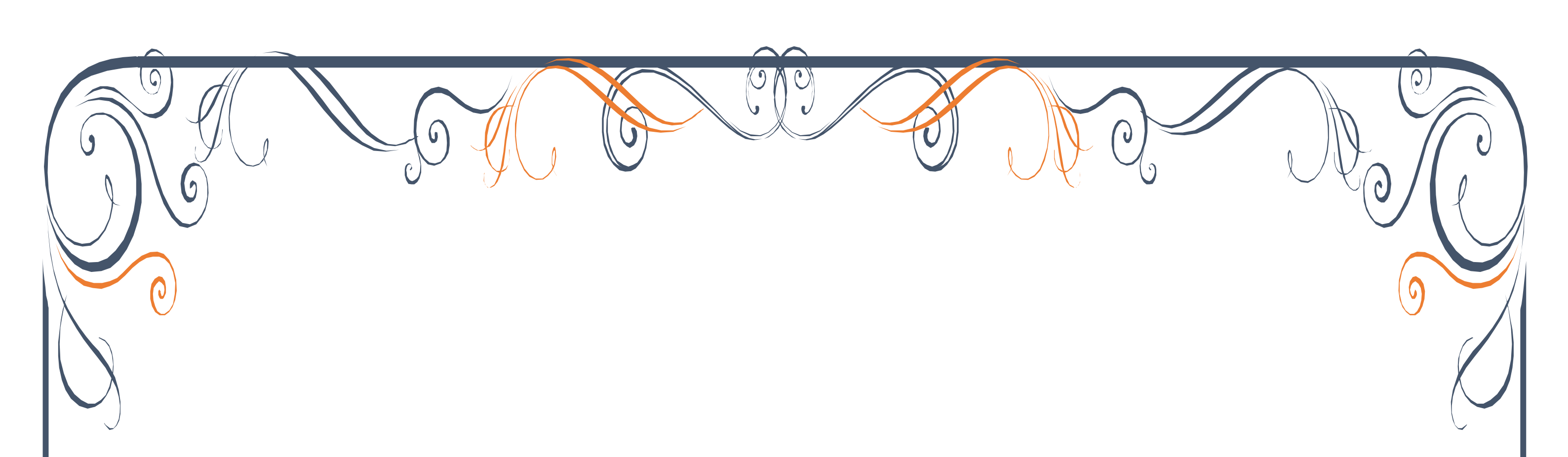
الكروت البيانية لمحرك ثنائى الأشواط : Two-stroke engine indicator cards

بالنظر للشكل (١٠ ــ ٣) يتضح أنه فى الكرت (5) خطى الانضغاط والتمدد الحقيقى (الكامل) أقل من العادى (المنقط) وذلك لانخفاض ضغط الانضغاط نتيجة تفويت الشنابر أو الصمامات أو انخفاض ضغط هواء الكسح .

ويوضح الكرت (6) نزول ضغط الاحتراق عن العادى نتيجة نقص فى كمية الوقود ــ الخط الكامل هو كرت التشغيل الفعلى ، أما الخط المنقط هو الكرت البيــانى المفـــروض ، يلاحظ أن ضغط الانضغاط فى كلاهما هو المقدار العادى ، ولكن ضغط الاحتراق الفعلى أقل بكثير من المفروض ، وقد يحدث ذلك بسبب نقص كمية الوقود نتيجة تفويت كباس طلمبة الحقن أو وجود انسداد بفلتر أو ثقوب الرشاش .

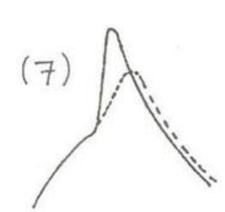


شكل (١٠ ــ ٣)



ويوضـــــــح الكــرت (7) الاشتعال المبكر Too early-ignition وينتج ذلك عــن أحد الأسباب التالية :

- حقن مبكر نتيجة تثبيت خاطئ لكامة الوقود أو صفر الخلوص بين الكامه والعجله .
- وقود غير مناسب . لزوجة أقل (تسخين زائد)
- ارتفاع درجة حرارة بعض الأجزاء مثل المكبس
- ضعف أو كسر باى الرشاش .



وعليه فإنه يسبب ارتفاع أقصى ضغط ، مما يؤدى إلى حدوث خبط وصـدمات عنيفـة تنتقل إلى الكراسى وقد تظهر الذبذبة والتى تؤدى إلى أضرار بالغة .
ربما يؤدى ذلك إلى زيادة الجودة الحرارية للدورة ، ولكن يعمل على انخفاض درجـة حرارة العادم ، ويمكن ملاحظته بسمع الخبط وتأكيده بالمنحنى البيانى المفرود .

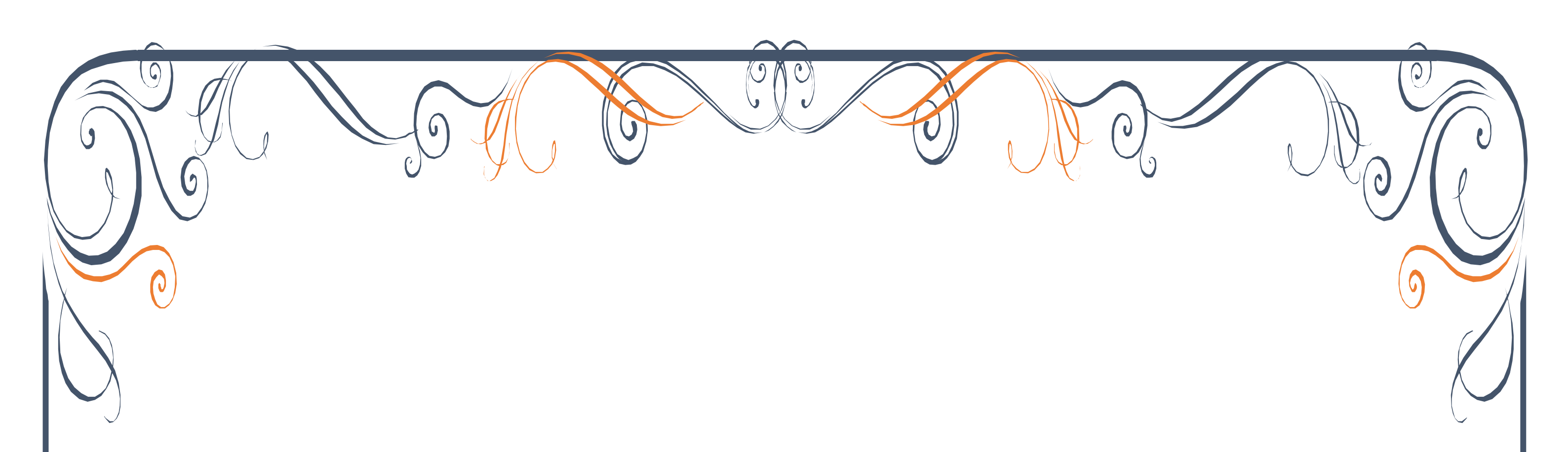
أما الكرت (8) فيوضح الاشتعال المتأخر Too late-ignition ، وينتج ذلك عن أحد الأسباب التالية :

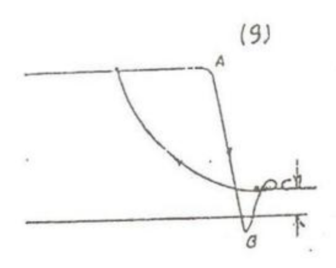
- خطأ فى توقيت الحقن (حقن متأخر) .
- ارتفاع لزوجة الوقود (انخفاض درجة حرارة التسخين) .
- نقص فى هواء الكسح .
- انخفاض ضغط الانضغاط .
- عيب بالرشاش (تذرير غير جيد) .
- تفويت بمضخة حقن الوقود .
- برودة الأجزاء أو انخفاض درجة حرارتها .

(8)

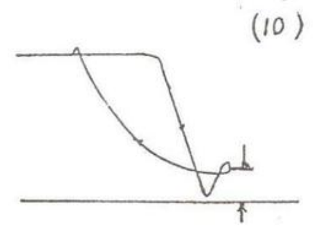
وعليه فإن الاحتراق يتم أثناء شوط التمدد ، ويتسبب عن ذلك :

- فقد فى القدرة .
- فقد فى الجودة الحرارية حيث أن الوقود لا يحترق بأكمله فى ميعاده .
- ارتفاع درجة حرارة العادم ، مع ظهور دخان أسود .
- سرعة تلف صمام العادم وانسداد مجموعة العادم وظهور الضغط الخلفى .

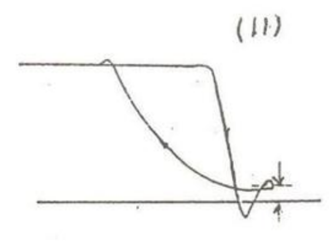




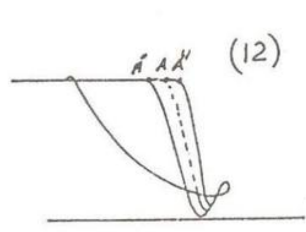
ويوضح الكـرت (9) منحنـى يـاى ضعيف ، عند فتح بوابات العادم عند النقطة (A) يندفع العادم بسرعة ، ونتيجة كمية الحـركة ينخفض الضغط إلـى أقـل مـن الجوى عند النقطة(B) حيـث يحـدث تفريغ قبل فتح هواء الكسح) ، ثم ينـدفع هواء الكسح فيرفـع الضـغط إلـى (C) ويتحرك المكبس إلى الداخل مغلقاً البوابات ورافعاً الضغط .



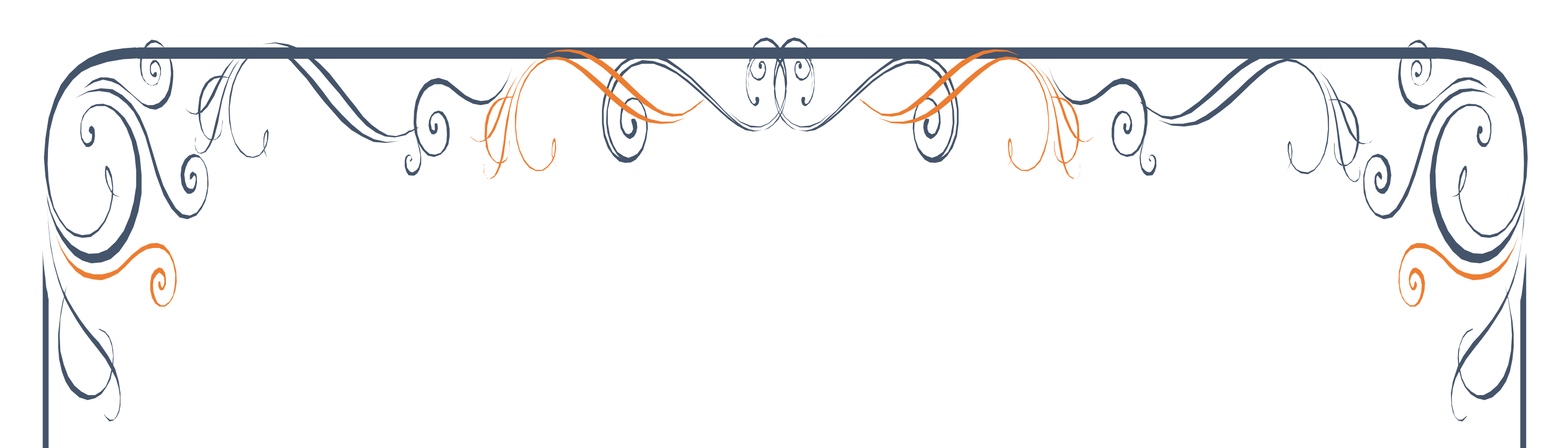
ويوضح الكـرت (10) تـأثير تـراكم الكربون على بوابات العادم نتيجة الاحتراق الغير جيد أو التزييت الزائد ، وعليه فيعمل على إعاقة خروج العادم ، ويزيد الضـغط الخلفى مما يسبب تقليل القدرة ، وارتفـاع درجة حرارة العادم وظهور الدخان ، وقـد يظهر نباح الشاحن التوربينى .



أما الكرت (11) فيوضح تأثير انخفاض ضغط هواء الكسح ، نتيجة عيب بالشـاحن التوربينى أو تفويت بالمجمع .



كذلك فإن الكرت (12) يوضح توقيت فتح صمام العادم على محرك بطئ السرعة وهو لا يعطى التوقيت الدقيق تماماً ، ولكن يمكن الاستعانة بـه للمقارنـة بـالمنحنى المأخوذ فى حالة التشغيل المبدئى السليم ، وهو يعطى فكرة عن تبكير أو تأخير فـتح صمام العادم .



A يدل على فتح الصمام توقيت سليم

A` يدل على فتح الصمام توقيت مبكراً وقد يسبب فقد فى القدرة وارتفاع درجة حرارة العادم .

A`` يدل على فتح الصمام توقيت متأخر ، وسوف يقلل الطاقة للشاحن التوربينى ، وكذلك كفاءة الكسح .

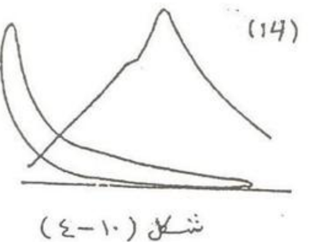
الكروت البيانية لمحرك رباعى الأشواط : Four-stroke engine indicator-cards :

(13)

x

y

بالنظر للشكل (١٠ ــ ٤) يتضح أن الكرت (13) لاسطوانة محرك رباعى الأشواط عند الحمل الكامل ، النقطة Y توضح بداية فتح صمام العادم ، أما النقطة x بداية الاشتعال .



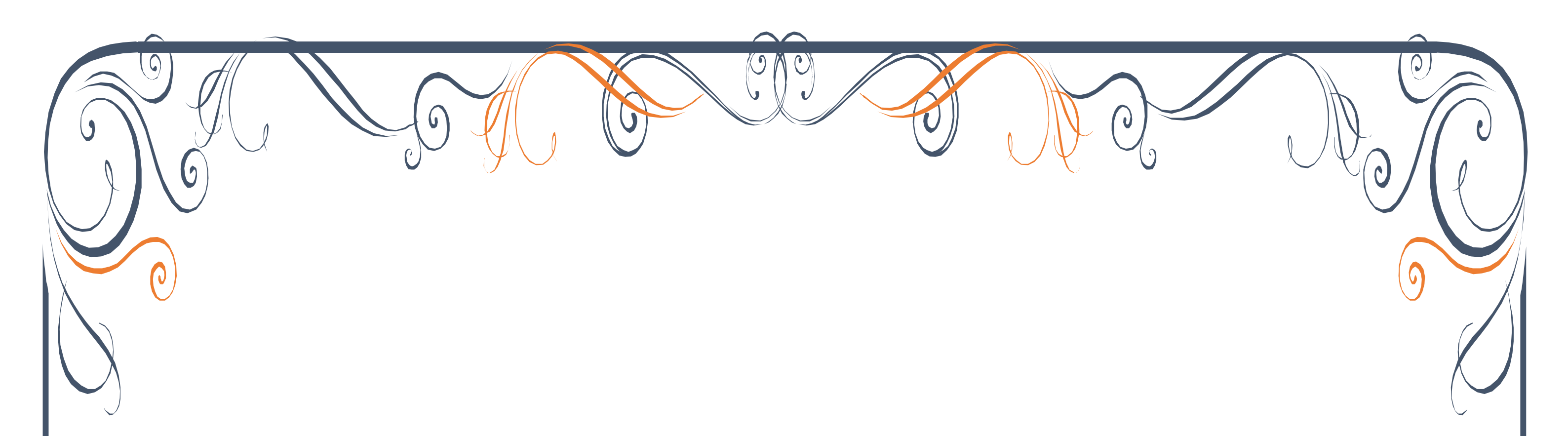
أما الكرت (14) فهو لنفس الاسطوانة ، ولكن عند الحمل الجزئى ، ويتضح صغر مساحة الكرت .

شكل (١٠ ــ ٤)

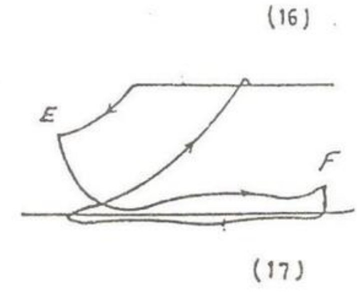
بالنظر للشكل (١٠ ــ ٥) نرى أن الكرت (15) منحنى باى ضعيف لمحرك رباعى الأشواط ، تمثل (A) مشوار السحب ، (B) الانضغاط ، أما (C) مشوار التمدد ، (D) مشوار العادم ، ويفتح صمام العادم عند (E) .

(15)

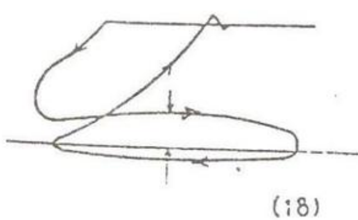
C G B D A B.D.C T.D.C



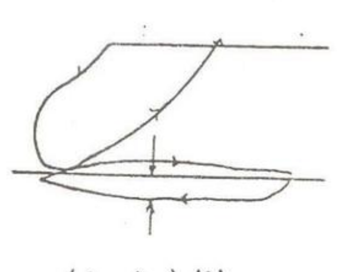
أما الكرت (16) فتمثل النقطة (E) فتح صمام العادم متأخراً ، والنقطة (F) غلقه مبكراً ، وهذا نتيجة الخلوص الزائد بين الحدبة والعجلة .



ويتبين من الكــرت (17) أن خــط خروج العادم أعلى من المعتاد ، أى أنــه توجد مقاومة لخروج العادم ، ويحدث ذلك نتيجة انسداد جزئى بماسورة العادم ، أو صغر فتحة صمام العادم .



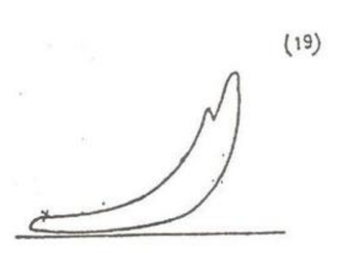
ويتضح من الكرت (18) أنه توجد مقاومة كبيرة لسحب الهــواء ، وربمــا يكون ذلك نتيجة انسداد فلتر الهواء أو أن فتحة صمام السحب أقل مما يجب نظــراً لزيادة الخلوص .



شكل (١٠ ــ ٥)

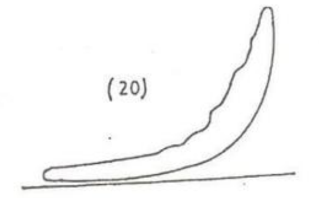
الشكل (١٠ ــ ٦) يحتوى على بعض العيوب العامة :

الكرت (19) يوضح التذبذب فى خط التمدد نتيجة التسريب فى إبــرة الحــاقن Secondary-injection وارتفاع الضغط عند فتح صمام العادم .



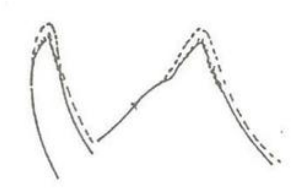




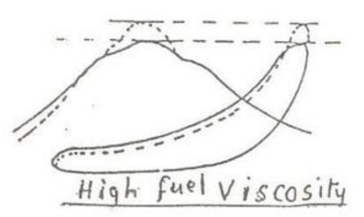


الكرت (20) يوضـح تمـوج خـط التمدد نتيجة تذبذب باي جهـاز المبـين بسبب التأثير المشترك الناتج عن سرعة المحرك وضعف الياى .

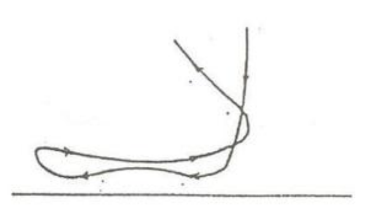
الكرت (21) يوضح انسداد جزلـى فـى الحـاقن Partly chocked fuel-valve ويسبب دق فى ماسـورة الحـاقن وذلك بسبب وجود شـوائب بـالوقود أو بسبب تسييل الحـاقن، فتهـاجم الغـازات الوقود وتحرقه وتسد الثقوب أو بسـبب ارتفاع درجة حرارة الفونيه لعدم كفـاءة التبريد .



الكرت (22) يوضح انخفـاض ضغط الاحتراق ، ويتبعه النزول البطـئ للضغط أثناء التمدد والكرت عريض عن المعتاد ، وذلك بسـبب لزوجـة الوقـود العالية ، وصعوبة تجزلته واحتراقه .

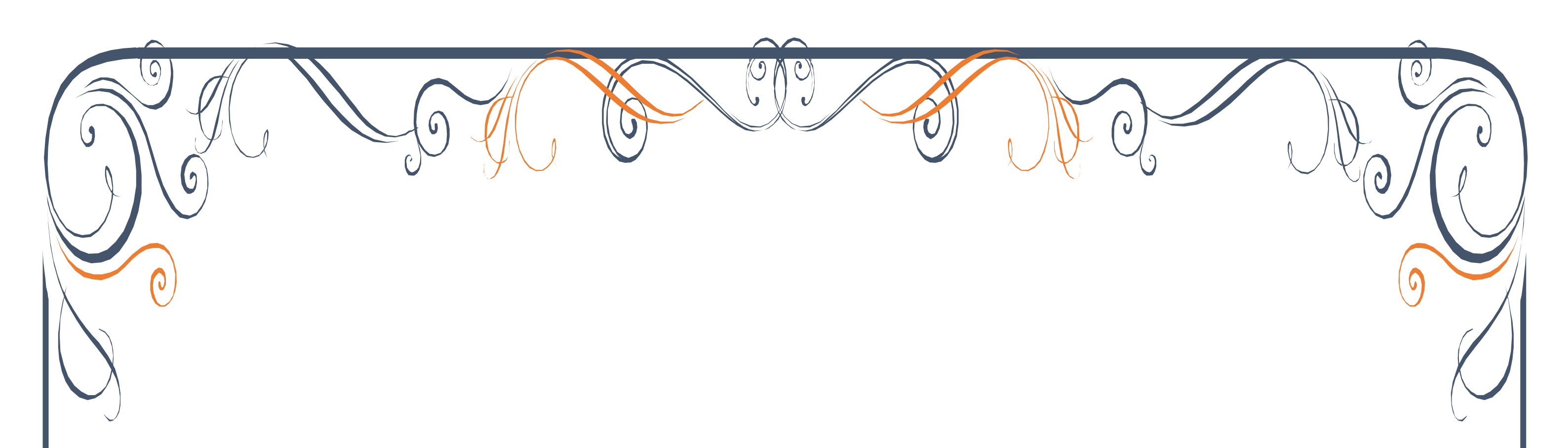


الكرت (23) يوضح منحنـى يـاى ضعيف لمحرك رباعى مشحون جبريـاً ، يقل الضغط فى نهاية مشوار التمـدد ثـم يرتفع فى وسط مشوار العادم نظراً لزيادة سرعة المكبس ثم يقل ثانية فى نهايته . وفى بداية مشوار السحب يكون الضـغط مرتفعاً نسبياً ويقل بزيادة سرعة المكبس فى منتصف المشوار ويرتفع ثانية عنـد بداية الانضغاط .



شكل (١٠ ــ ٦)





الكرت (24) يوضح ضغط الانضغاط (قفل الوقود عن الوحدة) وأقصى ضغط (ضغط الاحتراق)، وقد يكتفى فى بعض الأحيان بأخذها من جميع الوحدات على ورقة واحدة وبإضافة درجات حرارة العادم لكل اسطوانة يمكن عمل مقارنة بين جميع الاسطوانات وتحديد الاسطوانة الأقل أو الأكثر تحميلاً ، هذا مع مراعاة تساوى درجات حرارة المياه الخارجة من جميع الاسطوانات .

(24)

شكل (١٠ – ٦)

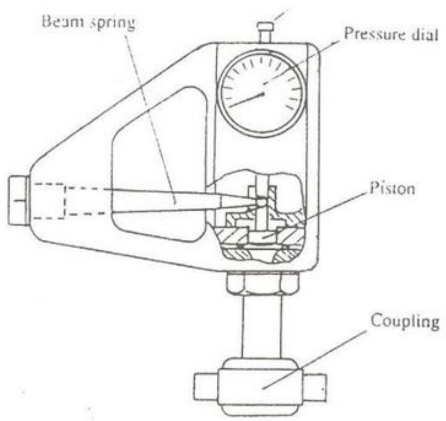
١٠ - ٥ مبين أقصى ضغط Peak- pressure indicator

لضمان اقتصادية تشغيل السفينة ، يجب تشغيل المحرك الديزل بأعلى كفاءة ، ويتأتى ذلك بتساوى قدرات جميع الوحدات (أى اتزان المحرك) ويمكن التعرف على ذلك بتساوى: مساحة الكروت البيانية لجميع الوحدات ، وتساوى درجات حرارة العادم ، وخارج تبريد الاسطوانات .

ويتيسر ذلك فى المحركات بطيئة السرعة ، ولكن يتعذر الحصول على الكروت البيانية المنتظمة من المحركات السريعة والمتوسطة السرعة ، وذلك لأن السرعات العالية تؤدى إلى حدوث ذبذبات تمنع من استجابة الياى والإبرة لمتابعة الضغط فى الاسطوانة ، فلا يمكن الحصول على الكروت البيانيه التى تحقق المطلوب .

وبناء على ذلك فتستخدم طريقة أخرى تقريبية ، وذلك بتساوى أقصى ضغط لجميع الوحدات ، ويمكن معرفة ذلك باستخدام مبين أقصى ضغط شكل (١٠ – ٧) .





Peak pressure indicator

شكل (١٠ ــ ٧)

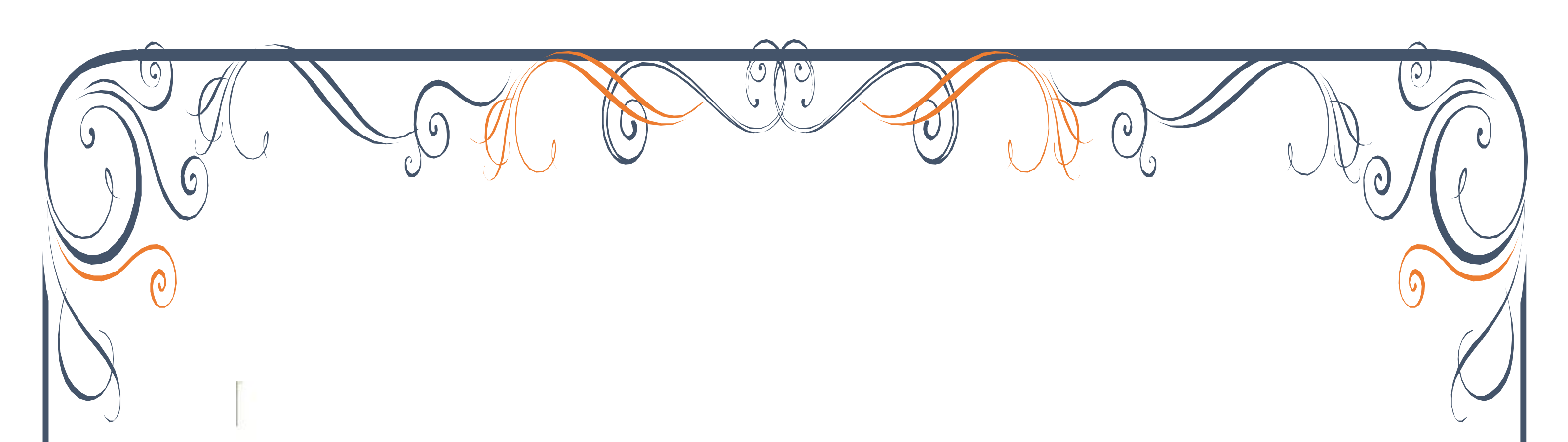
وليكن معلوماً أن التشغيل بدون اتزان الوحدات يؤدى إلى :
تحميل زائد على بعض الوحدات والذى يؤدى إلى انهيار سـبائك الكراسـى وشـروخ بالدعامات العرضية للفرش ، وزيادة التهريب بين الحلقات ، والذى قد يؤدى إلى زرجنتها ، وكذلك كسر أو تسييب مسامير المحامل أو مسامير تثبيت الفرش .

١٠ ـ ٦ صيانة وإصلاح محركات الديزل

Maintenance and repair of diesel engines

الهدف من صيانة محركات الديزل هو ضمان صلاحية عملها وبكفاءة عالية ، وخفض الوقت الضائع الناشئ عن الأعطال الطارئة .

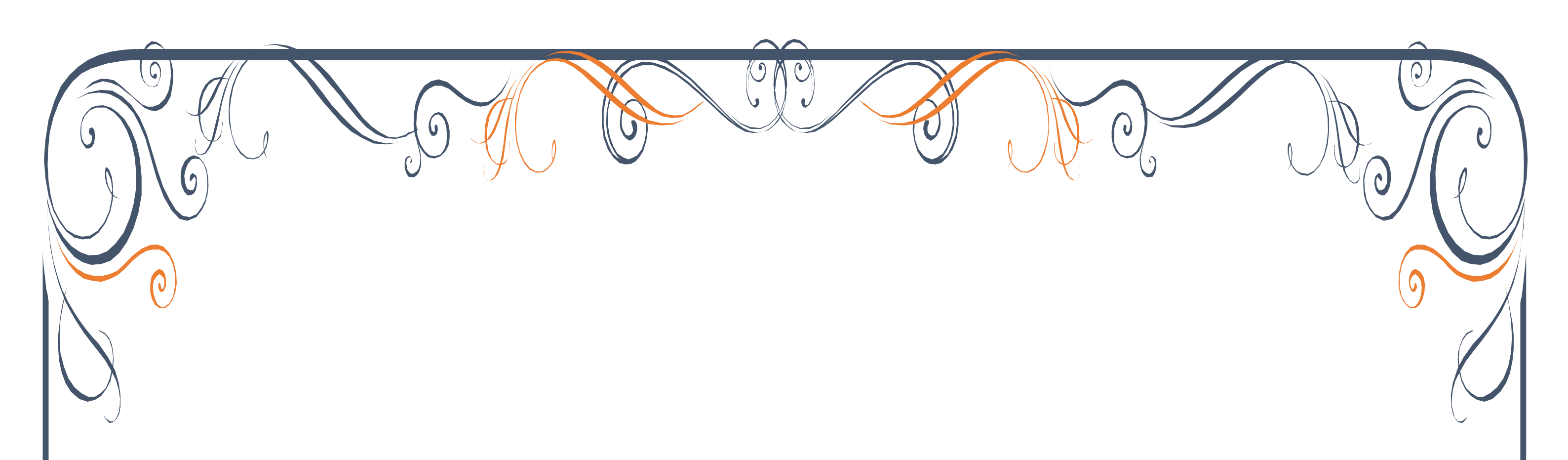
وبدون عمل الصيانة الوقائية Protective-maintenance ستتعرض المحركات للأعطال ، وربما تنشأ غالبية هذه الأعطال من أخطاء أو عيوب فنية بسيطة فى البداية ، ولكن نظراً لعدم القيام بأى خطوات للصيانة أو لفحص المحرك ، يحدث تضخم فـى هـذه الأخطاء أو العيوب البسيطة حتى تصل إلى حالة العطل التام .



وعادة يتبع فى تنفيذ الصيانة الوقائيـــة برنـــامج مخطـط Maintenance - schedule للصيانة والإصلاح كما يتضح من الجدول (١٠ ــ ٨) وذلـك بهـدف خفـض الأعطـال وتصحيح العيوب قبل استفحالها . ويحتاج تنفيذ برنامج الصـيانة الوقائيـة إلـى تـدوين القراءات والبيانات وساعات التشغيل والعيوب الطارئة وكيفية العلاج ونتائج اختبارات الأداء ويوضع عادة برنامج الصيانة الوقائية بمعرفة الشركات الصانعة ، إلا انه يمكن التغيير فيه بما يتناسب مع حالة العمل ونوع الوقود المستخدم وظروف التشغيل ومهارة الأفـراد والدقة فى الأداء .

		Hours New engine	Hours Normal service
1.	Scavenging air boxes. Clean out sludge.	1,000	1,000
2.	Fuel valves. Overhaul and adjust.	1,000	2,000-3,000
3.	Piston rings and cylinder liners. Check through scavenge ports.	500	2,000
4.	Overhaul exhaust valves. Adjust clearances.	2,000 1,000	3,000-4,000 2,000
5.	Oil discharge. Check bearings and spray pipes in crankcase and chain box.	1,000	2,000
6.	Crankshaft. Check deflection with crankshaft indicator.	1,000	4,000
7.	Camshaft chains, wheels, rubber guide bars and supporting bars. Check and, if necessary, retighten, (see "Parts and Tools, Text").	I 500 II 500 III 500	4,000
8.	Crosshead bearings. Check clearances.	1,000	4,000
9.	Screws and bolts in crankcase. (incl. supporting screws for stay bolts). Check and, if necessary, retighten.	1,000	4,000
10.	Holding-down bolts and all chocks in bedplate. Check and, if necessary, retighten. (first two intervals)	1,000-1,500	4,000-6,000
11.	Manoeuvring gear. Check moving parts.	1,000	4,000

K702(04)

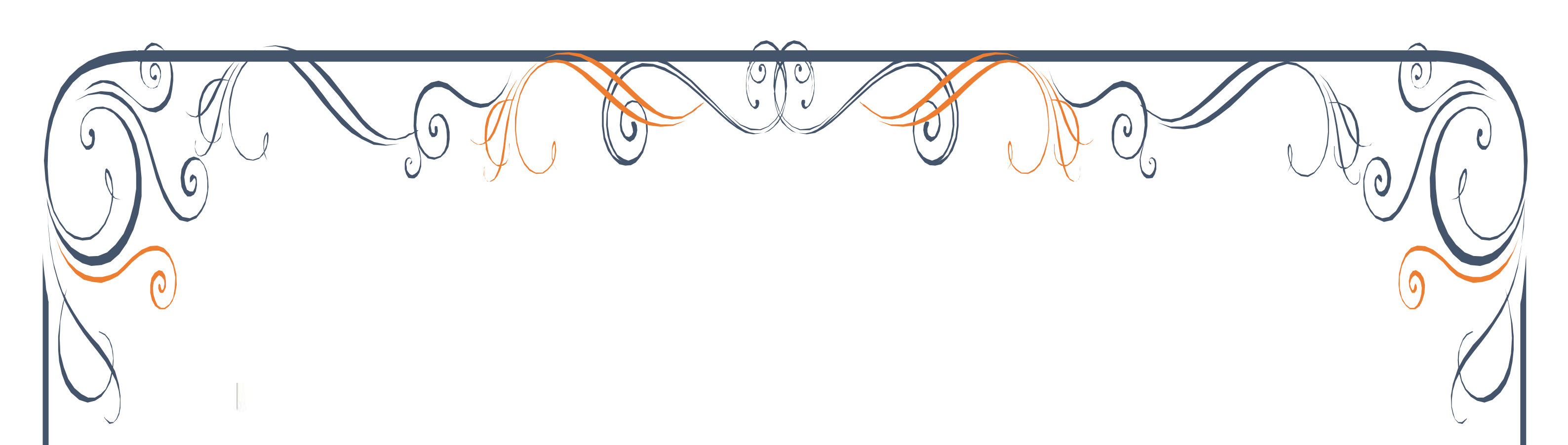


12. Freshwater coolers. Clean.	4,000	4,000
13. Circulating-oil coolers. Clean.	4,000	4,000
14. Air coolers. Clean. (Air side, water side).	4,000	4,000-8,000
15. Main-, crank-, and thrust bearings. Check clearances.	1,000	4,000
16. Stay bolts. Retighten.	1,000	8,000
17. Starting valves on cylinders. Overhaul.	2,000	8,000
18. Pistons. Overhaul. (incl. stuffing box).	2,000	6,000-8,000
19. Turbochargers. Check and clean. (Renew ball bearings, if fitted, every 8,000 hours).	4,000	8,000
20. Starting air system. Overhaul master valve, distributor, stop piston valve, and brake cylinder.	8,000	8,000
21. Clearance absorbers. Overhaul.	8,000	8,000
22. Safety valves incl. relief valves in crank case. Overhaul.	8,000	8,000
23. Crosshead bearings. Open up for inspection.	8,000	16,000
24. Bottom tank for circulating oil. Clean.	8,000	8,000
25. Main-, crank-, and thrust bearings. Dismantle for inspection. Take bridge gauge measurements of main bearings.	32,000	32,000
26. Lubricators. Overhaul.	16,000	16,000
27. Inspect and if necessary clean cylinder cover internally.		32,000
28. Check bolts in camshaft couplings.		4,000
29. Clean gasgrids in exhaust pipe.		4,000-8,000
30. Woodward governor, oil change.		4,000

K702 (04)

شكل (١٠ ـ ٨)





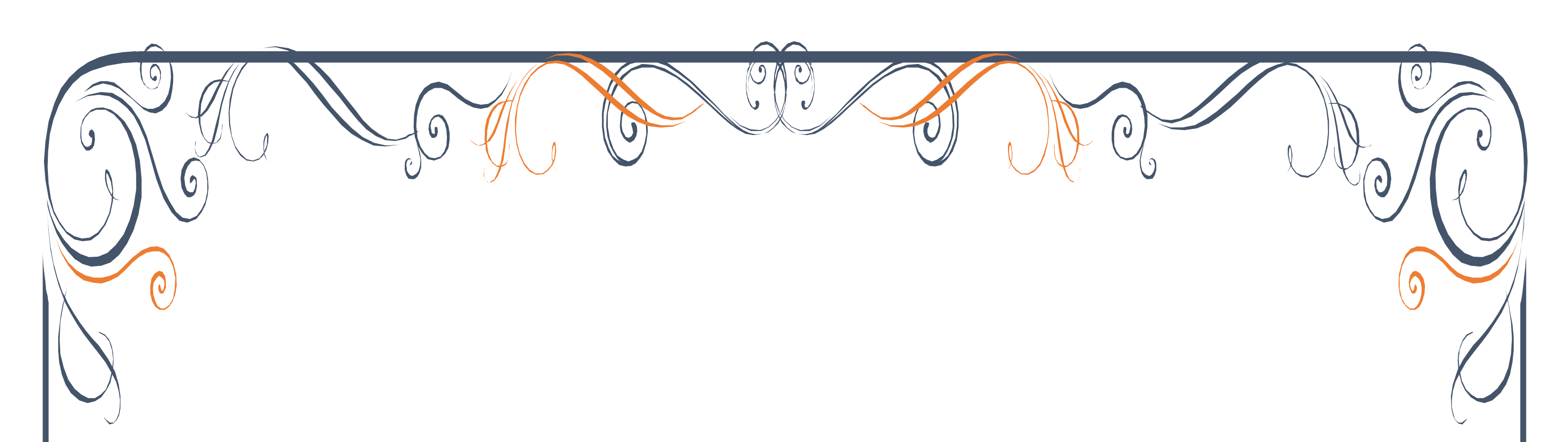
وليكن معلوماً أن متطلبات هيئات التسجيل لا تشكل فى حد ذاتها برنامجاً محدداً للصيانة حيث أن مهمة هذه الهيئات هى التأكد والحفاظ على مستوى معين للأداء خلال دورة التفتيش Special-survey التى تبلغ أربع أو خمس سنوات على الأكثر وهى الفترة المحددة لتشغيل أجزاء المحركات قبل ضرورة إجراء الكشف الشامل عليها .

ومن ثمة فلا يمكن اعتبار عملية التفتيش الدورى من جهة هيئات التسجيل بمثابة بديل لعمليات الصيانه .

ولكن فى الوقت الحاضر نظراً لتكلفة التوقف الباهظة لإجراء أعمال الصيانة الوقائية ، ظهر أسلوب جديد للصيانة وهو أسلوب الصيانة حسب الحالة الفعلية للمحركات الرئيسية . ويقوم هذا الأسلوب على أساس استمرارية تشغيل المحرك حتى تظهر بيانات أو قياسات تشير بقرب حدوث العيب أو أن حالة الجزء قد تدهورت بدرجة تستلزم تغييره . ويمكن بتتبع معدلات التغير فى هذه القياسات أن نتنبأ بالموعد المتوقع لحدوث العطل ، وأن نقوم بتخطيط إجراء العمرة قبل حدوث التعطل بوقت كاف . وتسمى هذه الطريقة " بالصيانة التنبؤية " Predictive-maintenance والتى تقوم على المراقبة المستمرة للحالة الفعلية ، وقد تم فعلاً تزويد المحركات الرئيسية لبعض السفن الحديثة بالمنظومة الوقائية Engine diagnostic-system لتجميع المعلومات وتفسيرها ، وذلك بالحصول على المعلومات الكافية عن حالة المحرك وتوضيح كيفية عمل الصيانة المطلوبة بالطريقة القياسية (أقل ما يمكن من الوقت والجهد) .

وتوجد بعض الأعمال الروتينية العادية اللازم إجراءها بين الحين والآخر وهى على سبيل المثال :

- تصفية الرواسب والمياه من صهريج الوقود اليومى واسطوانات الهواء .
- فتح جزرات المبين من حين لآخر لنفض الاسطوانات .
- تنظيف فلاتر الزيت والوقود وكذلك المنقيات .
- فحص والتأكد من سلامة أجهزة التنبيه ووسائل الأمان .
- اختبار عمل المنظم دائماً أثناء التشغيل .



- تنظيف فلاتر الهواء كلما استدعى الأمر .
- تنظيف بوابات العادم والحر من أى أوساخ أو كربون .
- مراعاة مصافى حيز الكسح والتأكد من عملها .

أما أعمال الصيانة الوقائية فيفضل إجرائها طبقاً للبرنامج الموضوع حسب ساعات التشغيل الفعلى ، والآتى بعض هذه الأعمال :

على فترات حوالى ١٠٠٠ ساعة تشغيل :

حواقن الوقود (الرشاشات) Fuel-valves

يتم رفع الرشاش وتنظيف الفونيه بفرشه سلك ناعمه ، ويتم اختباره بواسطة طلمبة الاختبار ، ويمكن أن يعاد استخدامه إذا ثبت صلاحيته – أى يفتح على ضغط التشغيل والتذرير من جميع الثقوب بالتساوى وبزوايا واحدة وبدون تسييل Dribbling، وإلا وجب فكه والكشف على جميع أجزائه وتنظيفها وتحضين الإبرة على المقعد أو تغيير الفونيه .

وإذا أورى الاختبار على سلامة الحواقن يمكن زيادة فترة الفحص إلى (١٥٠٠) ساعه .

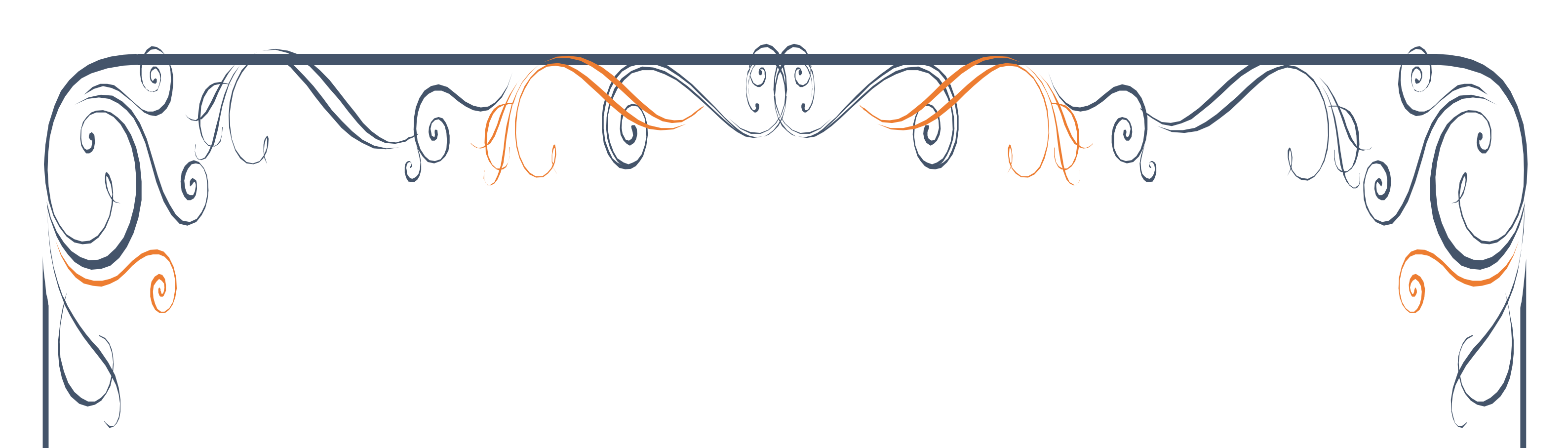
على فترات حوالى ٣٠٠٠ ساعة تشغيل :

عامود الحدبات : Cam-shaft

يتم اختبار سريان الزيت ورباط الوصلات وتثبيت الحدبات ، والتأكد من سلامة سطح تلامس العجلة Roller مع الحدبة ومدى البرى ، ويتحدد توقيت الحقن المضبوط من الكروت البيانيه التى تؤخذ دورياً .

صمامات العادم : Exhaust-valves

ترفع الصمامات وتنظف ويتم مراجعة الخلوص المحورى والقطرى بين الجلبة والعمود ويتم الكشف على حلقات الإحكام وقواعد الصمامات وتجليخها إذا لزم الأمر ، ويتم تسليك المزايت وممرات الهواء إن وجدت وتفحص اليايات وتراجع قوى شدها .



على فترات حوالى ٦٠٠٠ ساعة تشغيل :

الفرش والكارتير Bedplate and oil-sump

يتم فحص الفرش والكارتير للبحث عن أى شروخ سواء بالعين المجردة أو بأشعة أكس . ويتم تنظيف حيز صندوق المرفق تماماً وكذلك مجمع الزيت ، ويجرى الاختبار الطرقى Hammer-test للتأكد من سلامة الرباط وخاصة لمسامير الشدادات Tie-bolts ومسامير تثبيت الفرش .

يتم الكشف على جميع الأجزاء المتحركة والمواسير للتأكد من عدم وجود شروخ أو تفويت .

ويتم تنظيف واختبار صمامات تصريف الضغط relief-valves Crankcase والتأكد من صلاحيتها .

كرسى الدفع : Thrust-bearing

يتم قياس الخلوص المحورى ولا يسمح بزيادته عن ٢ مم والكشف على اللقم Pads وسريان الزيت والتبريد .

رؤوس الاسطوانات Cylinder-covers

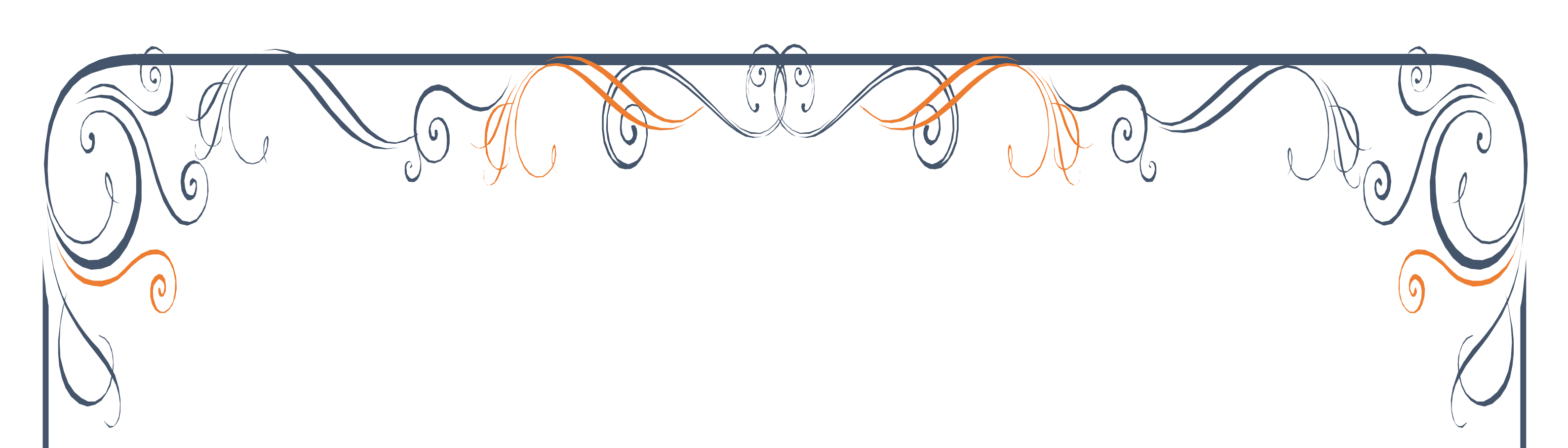
ترفع جميع التركيبات الموجودة عليها ويتم تنظيفها من الخارج ، تفتح أبواب الكشف على حوارى التبريد وترفع أصابع الزنك ، ثم يتم تنظيفها بالمحلول الكيميائى ويتم اختبارها هيدروليكياً على ضعف ضغط التشغيل للتأكد من عدم وجود شروخ .

جسم الاسطوانة : Cylinder-block

يتم تنظيف حوارى التبريد كيميائياً والكشف على أصابع الزنك أو تغييرها (كما سبق شرحه فى ٦ ـ ٣) .

الجلبة أو القميص Cylinder-liner

يجب إزالة أى رواسب كربونيه على جدران الاسطوانة قبل رفع المكبس بالصنفره ، وكذلك إزالة الحافة الناشئة عن البرى عند نهاية مشوار المكبس (إن وجدت) بالتجليخ Grinding .



ويتم رفع المكبس ، ثم يتم تنظيف الجلبة تماماً وتفحص ، ثم يقاس الأقطار الداخلية في الاتجاهين الطولى للمحرك وعمودياً عليه عند المستـــويات المختلفة كما سبق شرحه فى (٢ ــ ٣ ــ ٤) .

ويتم التأكد من كفاءة التزييت من مظهر سطح الجلبة الداخلى ، ويمكن اختباره بتشغيل المزيته يدوياً ، كما يتم تدوير حواف بوابات الحر والعادم والمزايت .

ويجب تغيير الجلبه إذا وصل البرى الى ٠,٧% من القطر الأصلى أو حدث بها شروخ أو خدوش عميقة .

المكابس :Pistons

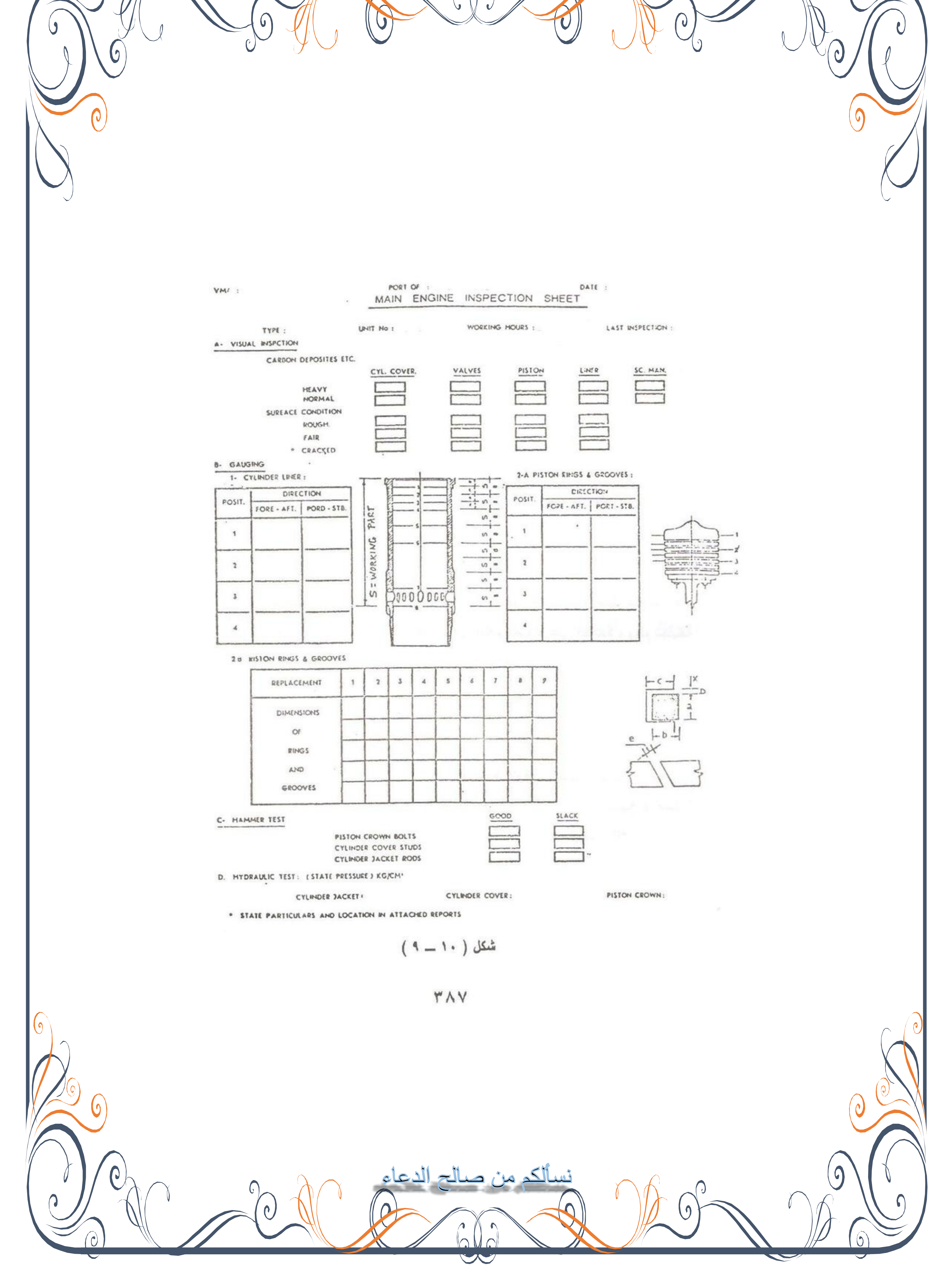
بعد إزالة الكربون والنظافة الداخلية والخارجية للمكبس يمكن البحث عن أى شـروخ وذلك بعمل اختبار هيدروليكى على ضغط يساوى ضعف ضغط التشغيل ، وإذا ظهر أى تفويت نتيجة شروخ أو تفويت من وصلة فيجب علاجه على الفور أو تغيير المكبس .

وترفع الحلقات بواسطة المعدة الخاصة الموردة مع الأدوات ويتم تنظيـف المجـارى تماماً وتراجع استقامتها ويتم مراجعة الخلوصات الرأسية وخلوص الفتحة للحلقات فى الثلث العلوى للجلبة ، ويجب مراعاة عدم استخدام الحلقات القديمة إلا إذا كانت حالتها تسمح بالتشغيل السليم لمدة تتجاوز فترة المعاينة .

وإذا ما استخدمت الحلقات القديمة فيجب شطف حوافها الحادة ، وتعاد فـى أماكنهـا تماماً ، ويراعى أن تكون الأسطح السفلية هى نفسها كما كانت .

وقبل إنزال المكبس يجب توزيع الحلقات بحيث تعمل فتحاتها ١٨٠° مـع بعضهـا .

وتسجل نتائج الفحص والاختبار فى نموذج خاص كما يتضح فى شكل (١٠ ــ ٩) .



VM/ : PORT OF : DATE :

MAIN ENGINE INSPECTION SHEET

TYPE : UNIT No : WORKING HOURS : LAST INSPECTION :

A- VISUAL INSPCTION

CARBON DEPOSITES ETC.

	CYL. COVER.	VALVES	PISTON	LINER	SC. MAN.
HEAVY					
NORMAL					
SURFACE CONDITION					
ROUGH					
FAIR					
* CRACKED					

B- GAUGING

1- CYLINDER LINER :

POSIT.	DIRECTION	
	FORE - AFT.	PORD - STB.
1		
2		
3		
4		

2-A PISTON RINGS & GROOVES :

POSIT.	DIRECTION	
	FORE - AFT.	PORT - STB.
1		
2		
3		
4		

2-B PISTON RINGS & GROOVES

REPLACEMENT	1	2	3	4	5	6	7	8	9
DIMENSIONS									
OF									
RINGS									
AND									
GROOVES									

C- HAMMER TEST

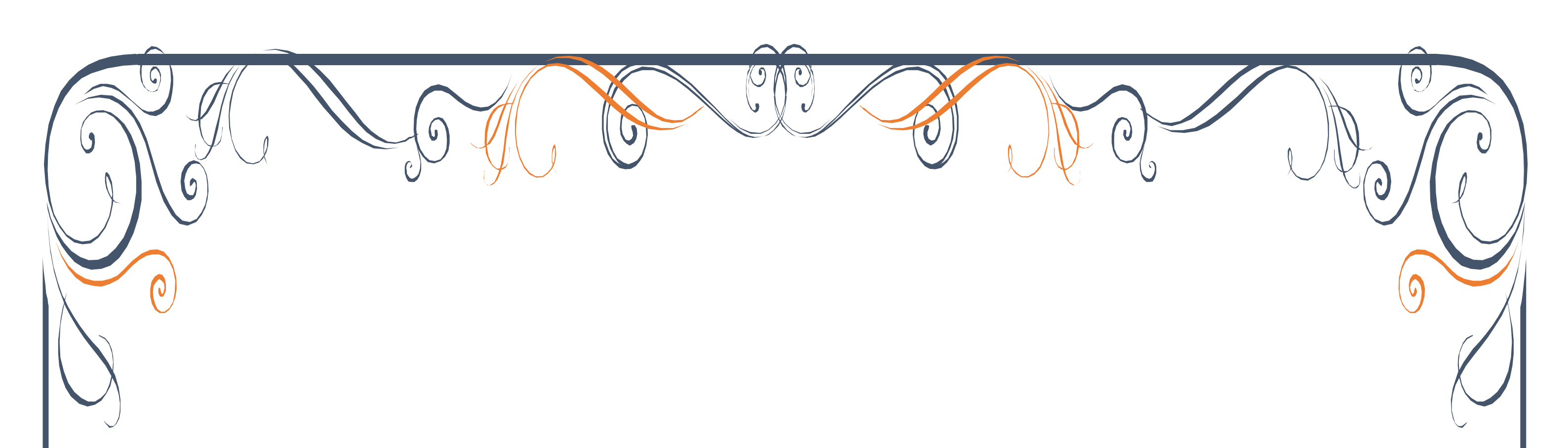
	GOOD	SLACK
PISTON CROWN BOLTS		
CYLINDER COVER STUDS		
CYLINDER JACKET RODS		

D. HYDRAULIC TEST : (STATE PRESSURE) KG/CM²

CYLINDER JACKET : CYLINDER COVER : PISTON CROWN :

* STATE PARTICULARS AND LOCATION IN ATTACHED REPORTS

شكل (١٠ ــ ٩)



جلند عمود المكبس Piston-gland

يمكن اتمام الفحص بدون رفع المكبس ، ويراجع الخلوص المحورى والقطرى لقطع الحشو على محيط العمود ، وكذلك اختبار شد اليايات وتسليك المصافى والمنفثات Vents .

رؤوس الانزلاق Cross-heads

يتم اختبار سريان زيت التزييت للأجزاء المتحركة والتأكد من رباط المسامير ويراجع الخلوص الجانبى والمحورى بالفيلر . أنظر شكل (١٠ ـ ١٠) ويمكن ضبطه بزيادة أو تقليل الرقائق بين الأدلة shims .

صمامات بدء الحركة Starting-air valves

يتم التأكد من حرية الحركة لعمود الصمام ، وإحكام الصمام مع القاعدة . وكذلك إحكام شنابر المكبس ، وعدم وجود بيضاوى بين المكبس والجلبه وقوة شد الياى .

صمامات الأمان : Safety-valves

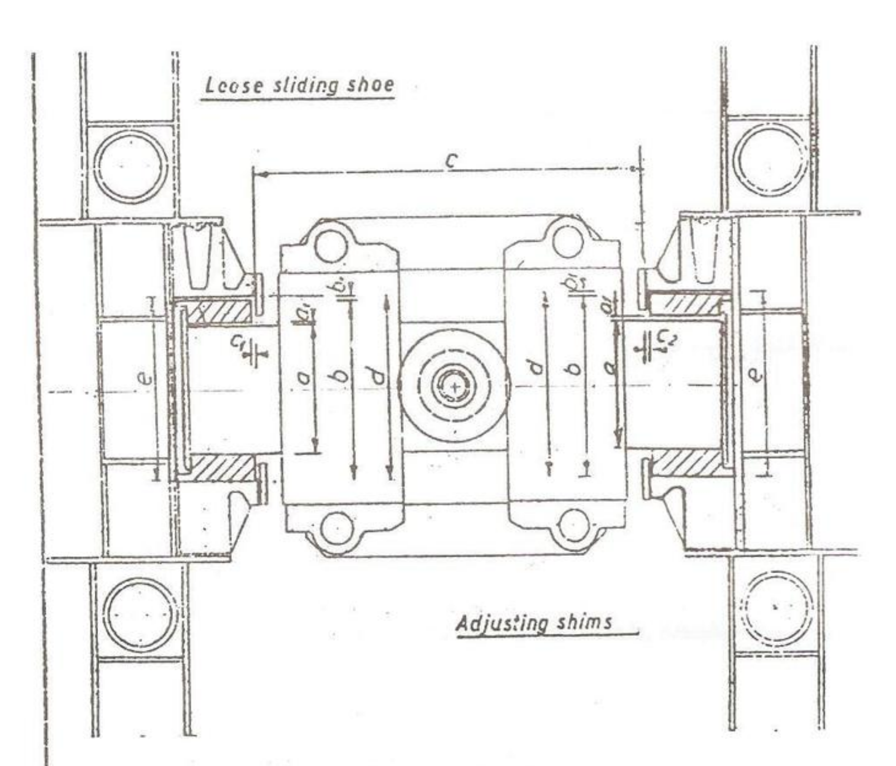
يتم التأكد من عملها وذلك لضمان فتحها عند الضغط المعين . وإذا سبق فتح أحد هذه الصمامات أثناء التشغيل فيجب اختبار مدى إحكام الصمام على القاعدة ، ويتم تجليخه إذا تطلب الأمر، ثم إعادة اختباره .

مضخات الوقود : Fuel-pump

تتحدد حالة مضخات الوقود من الكروت البيانيه .

ويتم ضبط كمية الوقود المعطاه بالمشوار الفعال للكباس ويمكن قياس ذلك بجهاز خاص يحدد بداية ونهاية مشوار الحقن ، ويضبط التوقيت بتقديم أو تأخير الحدبة . وأعمال الصيانه بالنسبة لمضخات الوقود التى تعمل بالصمامات هى تجليخ أو صنفرة صماماتها على المقاعد ، أو تغيير حلقات الإحكام ، أو ضبط خلوصات الأذرع والكشف على اليايات .





Crosshead Guide

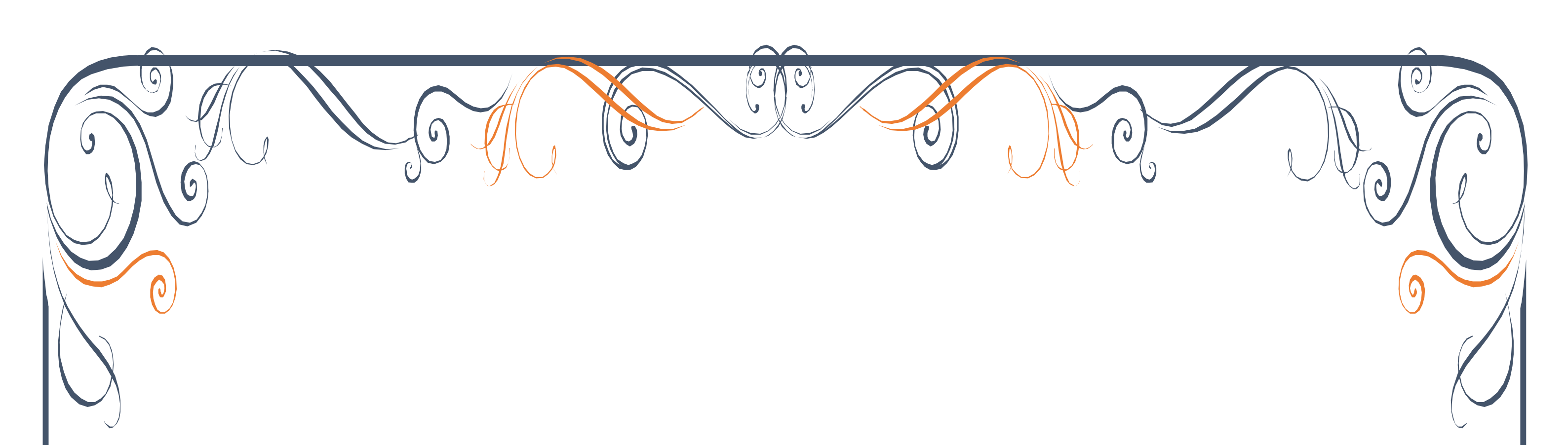
Loose sliding shoe

Nominal dimension	Normal play	Max. play (worn)
$a = 215^{-0,0?}_{-0,09}$	$a_1 = {}^{0,08}_{0,03}$	0,15
$b = 300^{-0,1}_{-0,2}$	$b_1 = {}^{0,35}_{0,20}$	0,6
$c = 670^{-3,5}_{-0,8}$	$c_1 + c_2 = {}^{0,50}_{0,30}$	0,8
d or $e = [illegible]00^{+0,15}_{+0,1}$		

Principal Clearences Crosshead Guide — All dimensions in mm

شكل (١٠ ــ ١٠)





على فترات حوالى ١٥٠٠٠ ساعة تشغيل :

أذرع التوصيل : Connecting-rods

يتم مراجعة خلوصات بنوز النهايات العليا والسفلى ويكون الخلوص القطرى حوالى $\frac{١}{١٠٠٠}$ من قطر البنز الأصلى،ويمكن تعديل حجم الخلوص بتغيير الرقائق الموجودة بين الجزء العلوى للنهاية الكبرى وعمود الذراع .

عمود المرفق : Crank-shaft and bearings

يتم قياس خلوص الزيت للمحامل بواسطة سلك الرصاص أو الفيلر ، وتراجع استقامة عمود المرفق بتحديد الانحراف وسقوط المحامل (كما سبق شرحه فى ٢ ـــ ١٠ ـــ ٦) ، ويتم الكشف على البنوز وتحديد البيضاوى أو التموج أو الشروخ ، وفى حالة الأعمدة النصف جزئية يتم الكشف على أى إنزلاق بين البنوز والفخذ .

ولا يسمح بأى بيضاوى يزيد عن ٠,٠٥ مم ، وإذا زاد عن ذلك فيمكن إزالته بمعرفة أخصائى .

ويراعى الكشف على تثبيت أثقال الاتزان فى حالة وجودها .

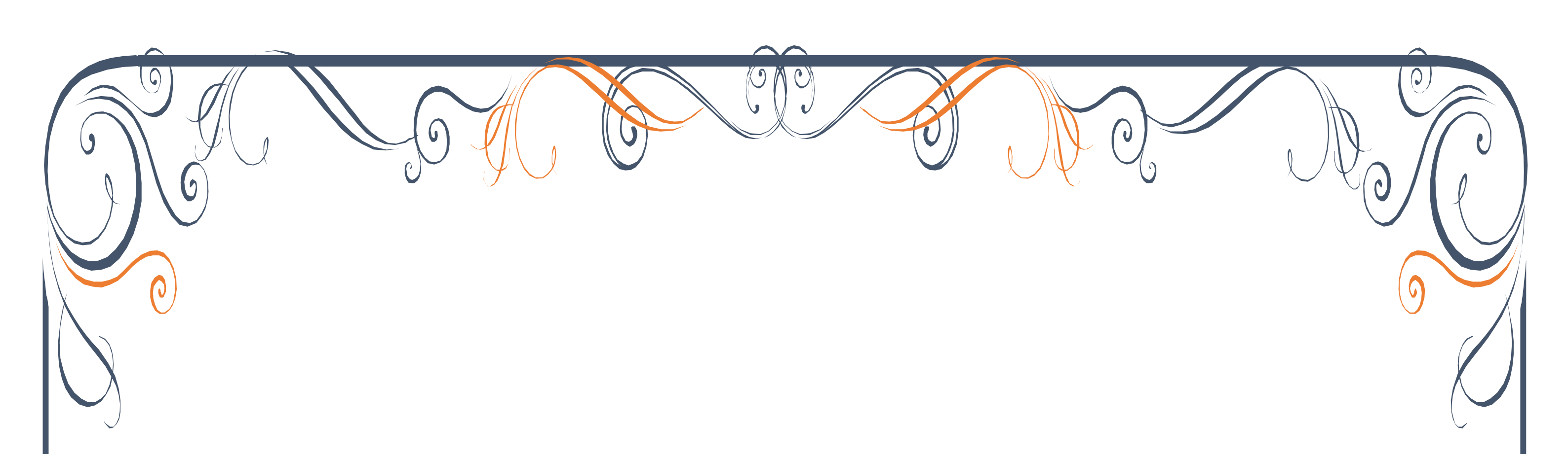
(١٠ ـ ٧) بعض النماذج العملية لتنفيذ أعمال الصيانه

Some practical models for performing maintenance operations

١٠ ـــ ٧ ـــ ١ : صيانة حاقن الوقود Fuel-valve maintenance

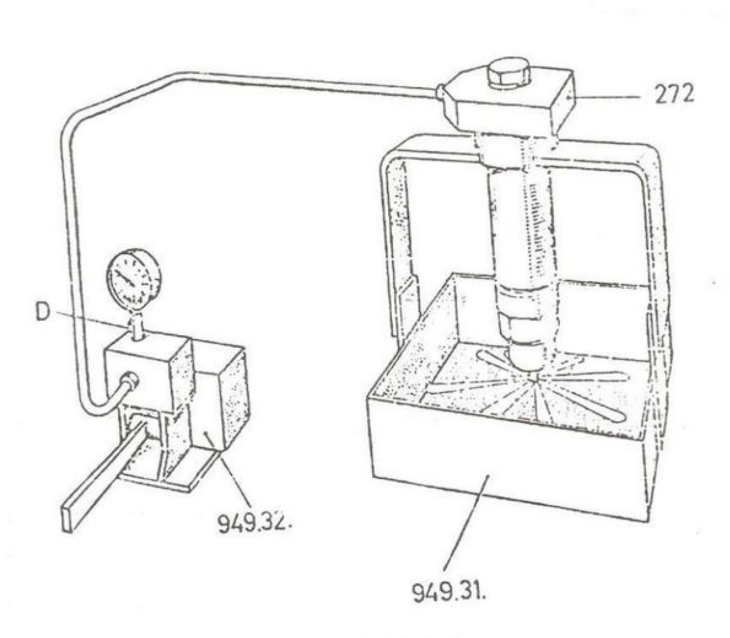
أ ـــ الاختبار : يمكن تنظيف الفونيه بفرشة سلك ناعمه ثم يثبت الرشاش على طلمبة الاختبار كما فى شكل (١٠ ـــ ١١) ويملأ خزان الطلمبة بسولار أو وقود ديزل نظيف ، ويجمع ناتج الاختبار فى حوض خاص ولا يستعمل للاختبار مرة أخرى .

ويعتبر الرشاش سليم إذا أمكن تذرير الوقود بالتساوى من جميع ثقوب الفونيه وبصوت مسموع وعلى زوايا واحده ، وأى انحراف عن ذلك يمكن ملاحظته بالعين المجرده ـــ ويمكن التأكد من ذلك باستخدام ورقه ومعاينة شكل مخاريط الوقود المرذذ المندفعه من ثقوب الفونيه ، وبعد ذلك يمكن قراءة ضغط الحقن على المانومتر بتحريك يد الطلمبه ببطء ، وإذا لزم الأمر يمكن تعديله بواسطة تغيير الشد على الياى بالرباط على صامولة الضبط .



وتحدد سلامة الرشاش إذا كانت الإبرة تامة الاحكام وهذا يحدث عندما يمكن الاحتفاظ بالضغط على قيمة تقل عن ضغط التشغيل بحوالى ١٠كجم/سم٢ لمدة تزيد عن ١٠ ثوان .

ولكن إذا ظهر تسييل من الرشاش أو عدم التذرير الجيد فيلزم فك الرشاش وإجراء اللازم .



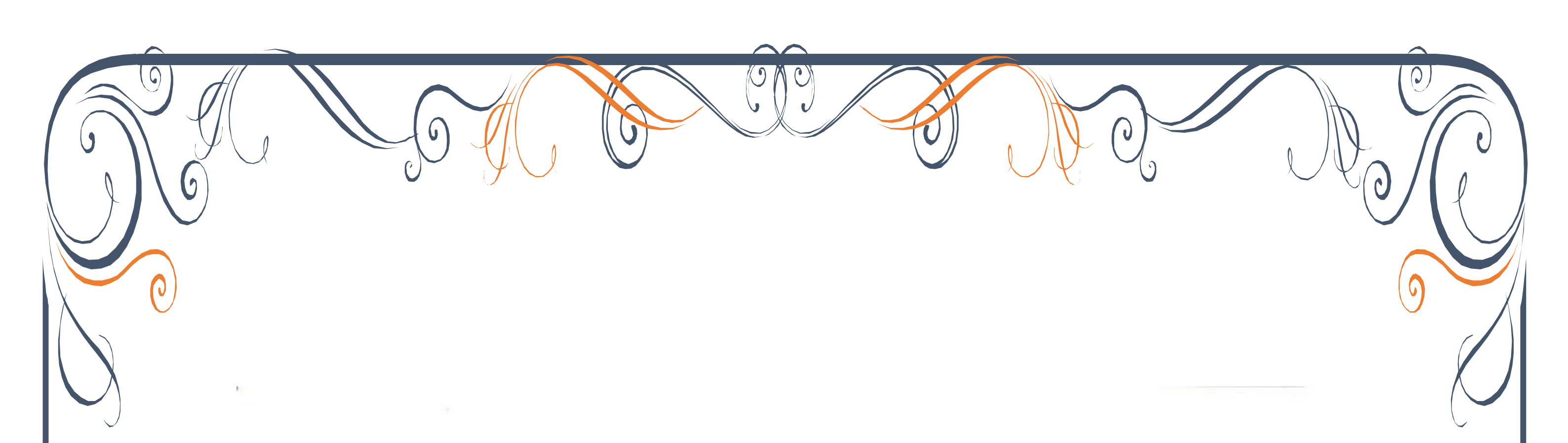
شكل (١٠ ـ ١١)

ب) الصيانه :

تعتبر النظافة والحرص شيئ إلزامى عند صيانة الرشاشات ولذا يجب توفير مكان مناسب ويبدأ بتخفيف شد الياى قبل فك الصامولة الحافظة ، وتغسل جميع الأجزاء بالكيروسين وتترك لتجف ولا تستخدم الكهنة أو الاسطمبه بتاتاً .

يمكن استخدام سلك بقطر يقل عن قطر الثقب فى حالة انسداد أحد الثقوب ، ويتم تحريك الإبرة فى دليلها عدة مرات وملاحظة أن الإبرة يمكن أن تسقط فى دليلها بتأثير وزنها .

وعندما تتسع الثقوب أو تفقد استدارتها يجب تغيير الفونيه ، أما فى بعض الأحيان



فيتطلب الأمر تجليخ الإبرة على قاعدتها ويستخدم البراسو أو معجون الصنفره الناعمــه ، ولكن يراعى أن هذا العمل يتطلب مهارة ومعرفة جيدة وإلا تلفت الفونيه تماماً .

وعند إعادة تقفيل الرشاش تراعى النظافة والدقة التامة وتغسل الفونيه مـرة أخـرى بالكيروسين النظيف ، ويجب أن يكون سـطح الاتصال بين الفونيه والجسـم محضن تماماً Lapped ولا يسمح بأى تفويت . ويلاحظ أن زيادة الرباط على الحافظـة لا يمنـع التفويت بل سوف يؤثر على الفونيه ويزرجن الإبره .

بعد ذلك يعاد اختبار الرشاش ويضبط ضغط الحقن ، حيث يتم توصيل الرشاش بالطلمبه وبعد ضخ الوقود فى الخط وخروج الهـواء من المنفث Air-vent يلاحظ على جهاز قياس الضغط القيمة التى يفتح عليها الرشاش .

ويعاد ضبط شد الياى بمسمار الضبط ويثبت عليه Locked ويعاد الاختبار ثـم يرفـع الضغـط إلى أقل من ضغط الفتح بحوالى ١٠ كج / سـم٢ وإذا احتفظ به لمدة تزيد عـن ١٠ ثوان تعتبر الإبرة حاكمة .

ملحوظـة :

يراعى عدم وضع اليد تحت رذاذ الوقود حيث أنه يخترق المسام ويحدث التهابات جلدية .

١٠ ــ ٧ ــ ٢ : تغيير قميص أو جلبة الاسطوانه Changing a liner

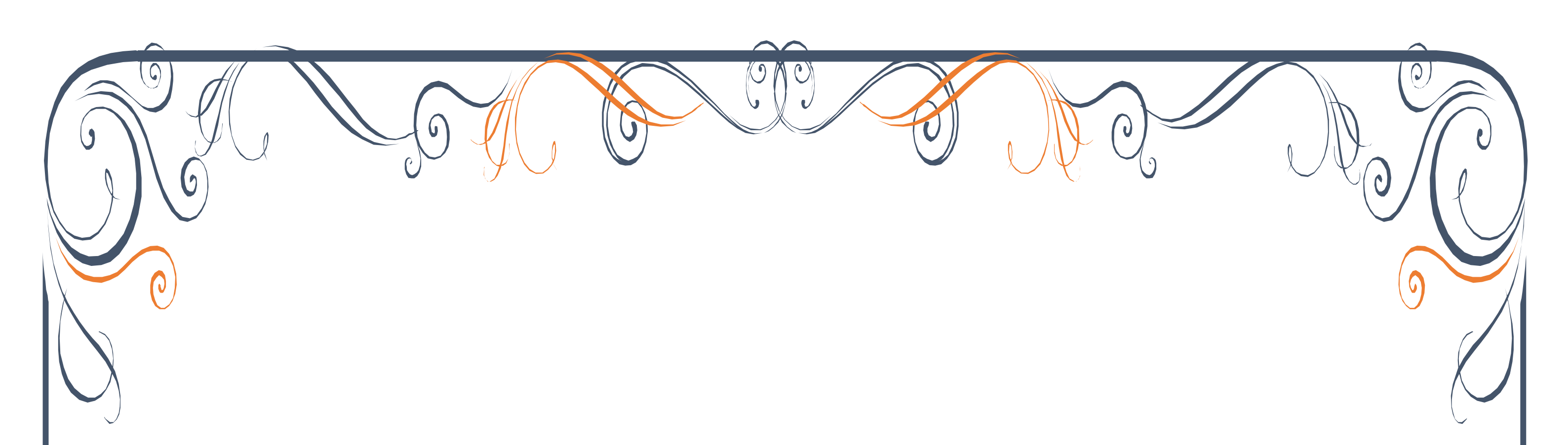
عند زيادة البرى بالجلبة عن المعدل المسموح به أو عند حدوث شرخ بها يلزم تغييرها على الفور ولذا يتبع الآتى :

يتم تصفية مياة التبريد وترفع المزايت من مكانها وتستخدم الأداة الخاصة وتثبت كما فى الشكل (١٠ ــ ١٢) .

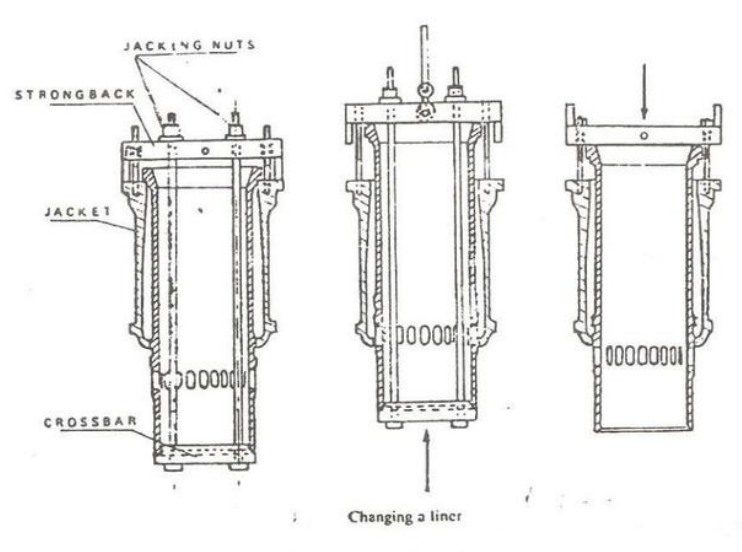
بالرباط على الصواميل بالتساوى أو باستخدام رافعه تعمل هيدروليكياً بضـغط الزيـت Hydraulic jack يمكن تحريك الجلبة من مكانها ، ثم ترفع بالاستعانه بالرافع Crane .

ينظف حيز التبريد ويفحص جيداً ، وكذلك الشفة العليا التى ترتكز عليها الجلبه وأماكن تثبيت حلقات المطاط .

تنظف الجلبه الجديده تماماً ويتم انزال الجلبه مكانها بدون حلقات المطـاط للتجربـه ، ويجب أن تنزلق بثقلها وبالضغط الخفيف ولا تستعمل القوة بتاتاً حيث قد تسبب انبعاجهـا



وتختبر الأقطار فى اتجاهين عموديين عند مستويات مختلف ، ويجب ألا يزيد الفرق بينهما عن ٠,٠٥ مم وإلا لزم رفع الجلبه وإزالة السبب .



Changing a liner

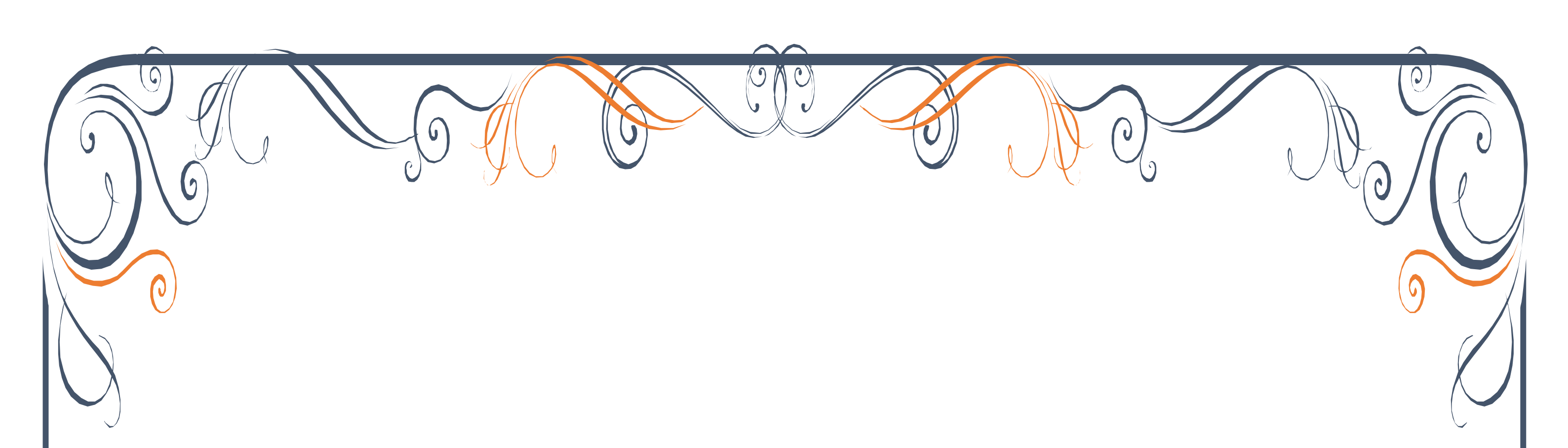
شكل (١٠ ــ ١٢)

ترفع الجلبه وتدهن الشفة العلويه بمركب مخصوص (أو توضع الحلقــه النحاســيه) وتثبت حلقات المطاط فى مجاريها بواسطة شحم أو صابون سائل ، ويتم إنزال الجلبه فــى مكانها بعد التأكد من العلامة التى تضمن المكان المناسب للمزايت والبوابات .

ويستعان بالعارضه ويتم الرباط على صواميل مسامير رأس الاسطوانه الموجودة فــى الجسم بالتساوى وبكل حرص حتى تستقر جميع الحلقات المطاطيه فى مجاريهــا وترتكــز الجلبه فى مكانها بحيث تكون البوابات والمزايت فى مكانها السليم ثم يعاد قياس الأقطــار مرة أخرى فى مستويات مختلفة للتأكد من عدم وجود بيضاوى ويــتم تســجيل القــراءات للرجوع إليها ، ثم تركب المزايت فى أماكنها ويتم اختبارها .

ملحوظـــــــــة :

- يجب تركيب حلقات جديدة للمكبس إذا تم تغيير الجلبه ، ويزيد معدل التزييت فى مراحل التشغيل الأولى .



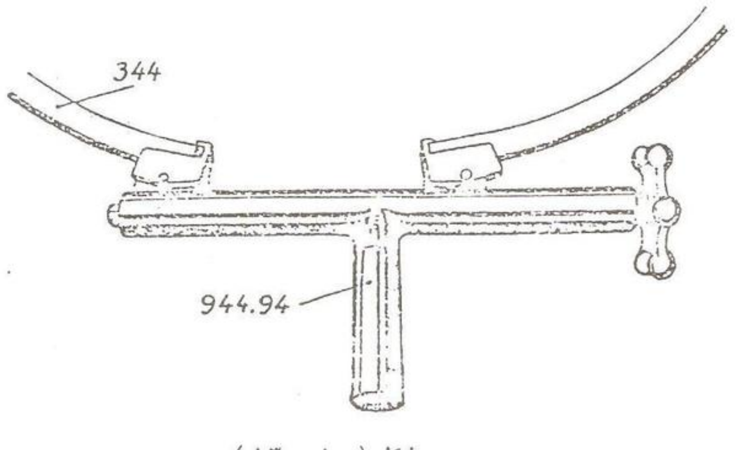
- يجب عمل اختبار ضغط لحوارى التبريد للتأكد من إحكام حلقات المطاط وعدم وجود أى تسريب .
- فى حالة صعوبة رفع الجلبة بالطريقة العادية يمكن استخدام التبريد الداخلى لها .

١٠ ـ ٧ ـ ٣ : تغيير حلقات (شنابر) المكبس : Replacing piston-rings

تتعرض شنابر المكبس للكسر أو للبرى نتيجة التشغيل ، ويعتمد معدل البرى بدرجة كبيرة على السطح الداخلى للجلبه ونوعية زيت التزييت المستخدم والحمل الواقع على الاسطوانه . ويعطى مقدار خلوص الفتحة مؤشراً عن مقدار البرى ، حيث يوضع الشنبر فى الثلث العلوى من الجلبه ويتم قياس خلوص الفتحه بواسطة الفيلر ويلزم تغيير الشنبر إذا زاد هذا الخلوص عن أربعة أضعاف خلوص الشنبر الجديد . ولتغيير مجموعة الشنابر يتبع الآتى :

- يستخدم الجهاز الخاص بفتح الحلقه والمورد مع العدة شكل (١٠ ـ ١٣) ، وننصح بعدم فتح الشنبر باليد أو باستخدام شرائط الصلب حيث أن هذا قد يؤدى إلى كسره أو تشوه الشنبر مما يسبب عدم قدرته على إحكام الحيز ، ولا تسحب الشنابر من مجاريها إلا فى حالة الفحص أو التغيير ، حيث أن هذه العملية تعرضها لاجهادات قاسية .
- تنظف المجارى تماماً وتفحص حالتها ويتم التأكد من استعدال سطحها ويتم دحرجة الشنبر من الخارج فى المجرى للتأكد من عدم وجود إعاقة .
- يوضع الشنبر فى الجلبه فى عدة مستويات ويقاس خلوص الفتحة للتأكد من مناسبته . (تبرد أى زيادة حتى يتم الحصول على الخلوص المناسب) .
- إذا استخدمت نفس الشنابر يلزم إزالة الحافة الحادة لعدم قشط طبقة الزيت ثم يفتح الشنبر إلى الدرجة التى تسمح بمروره من المكبس ويوضع كل شنبر فى مجراه ويراعى أن يكون السطح السفلى كما كان من قبل .
- تأكد من حركة الشنبر بحرية داخل المجرى واختبر الخلوص الرأسى بالفلر .
- قبل انزال المكبس فى الاسطوانة يراعى ان تكون فتحات الشنابر على زوايا مقدارها ١٨٠° مع بعضها .





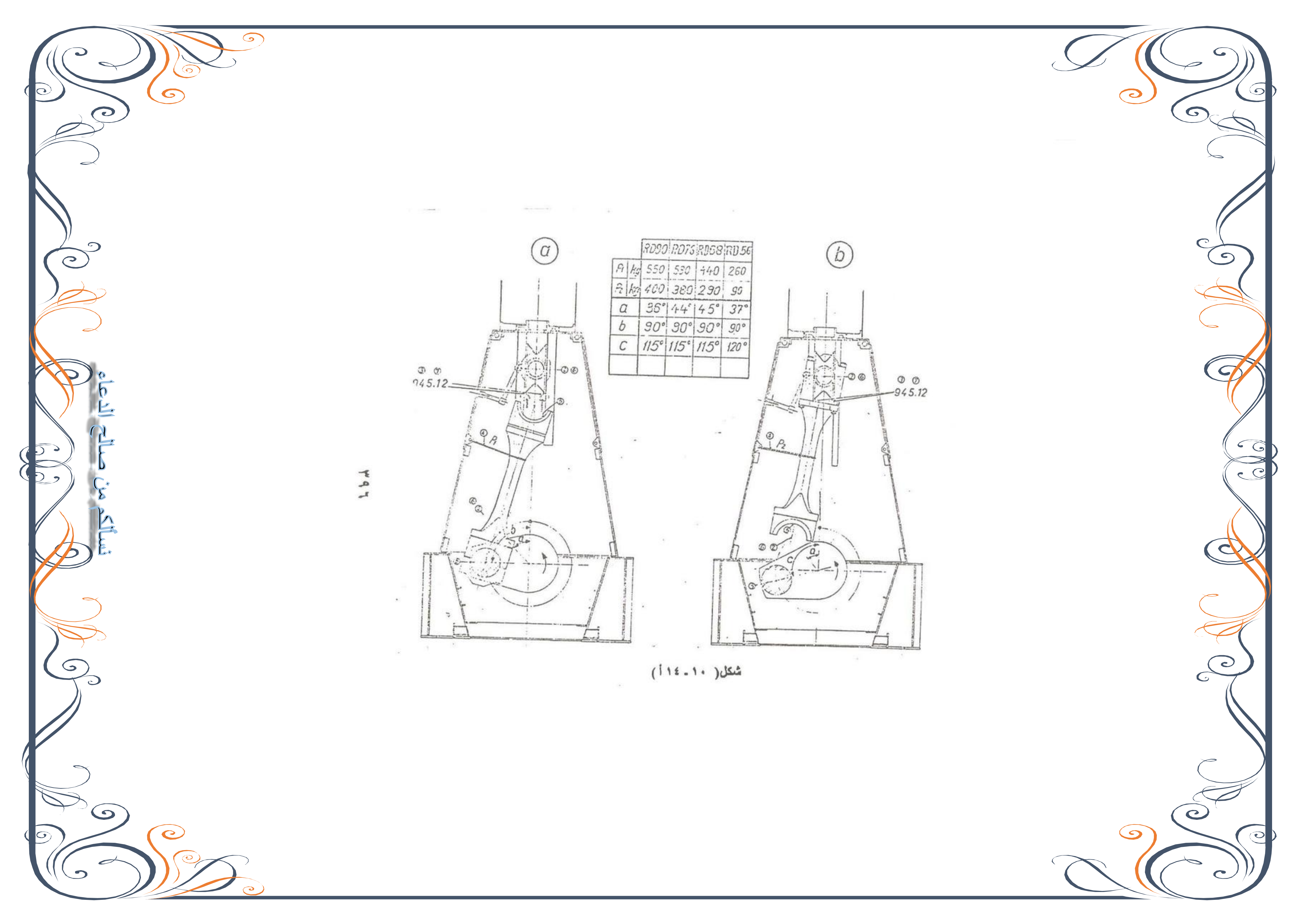
شكل (١٠ ــ ١٣)

١٠ ــ ٧ ــ ٤ : فحص محامل ذراع التوصيل

Inspection of connecting-rod bearings

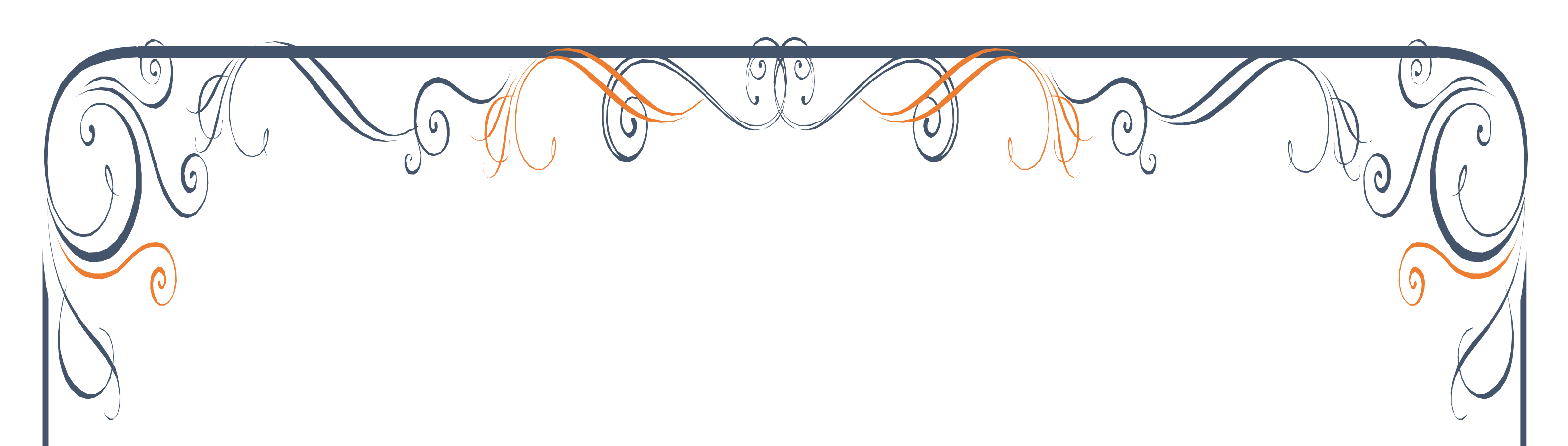
أ) فحص محامل النهاية العليا (شكل (١٠ ــ ١٤ أ)

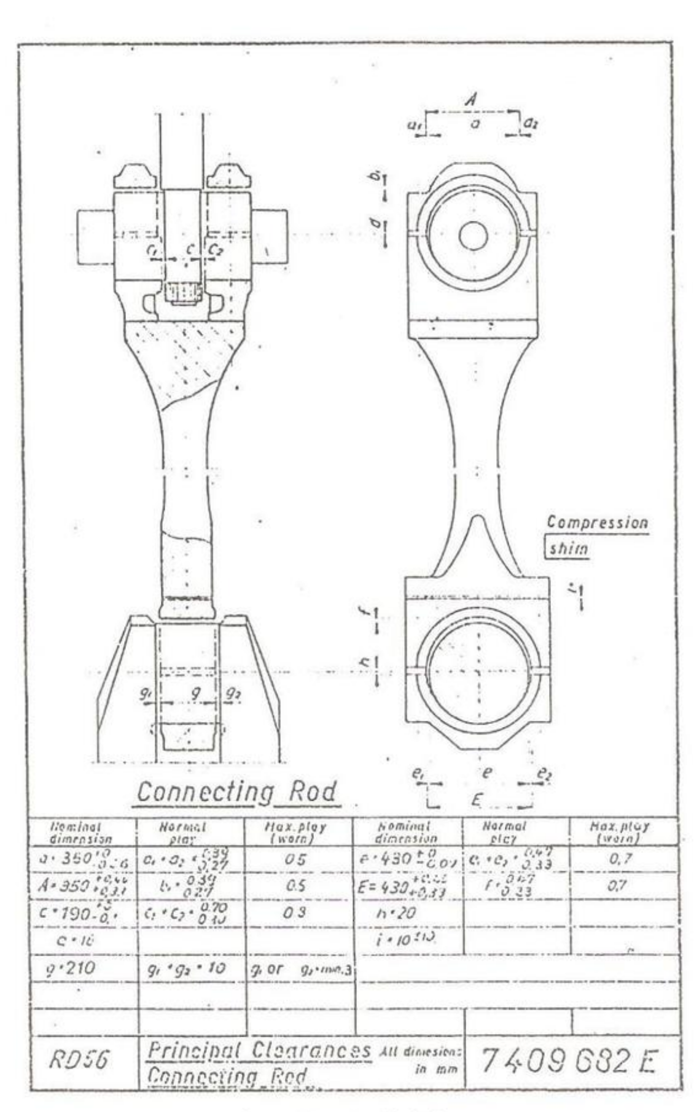
- يوضع مرفق الوحدة المعنيه فى ن.م.ع. وتحل مسامير النهاية العليا ويرفع نصف المحمل العلوى .
- يحرك المرفق للخلف قليلاً حوالى ٤٠° .
- توضع مسامير سند وتستند عليها أحذية الانزلاق ، ويمسك ذراع التوصيل بالحبل .
- يحرك المرفق للخلف كذلك حتى تتخذ الفخذة الوضع الأفقى ويترك المحمل البنز وعندئذ يمكن فحص اللقم ومراجعة الخلوصات طبقاً للجدول شكل (١٠ــ ١٤ ب).
- بعد المعاينه يمكن ارجاع المرفق إلى الوضع ٤٠° مع ن.م.ع. وترفع مسامير السند والحبل ويعاد المرفق إلى ن.م.ع. ويثبت نصف المحمل العلوى فى مكانه .



		RD90	RD75	RD58	RD56
A	kg	550	530	440	260
A_2	kg	400	380	290	90
a		35°	44°	45°	37°
b		90°	90°	90°	90°
c		115°	115°	115°	120°

شكل (١٠-١٤أ)

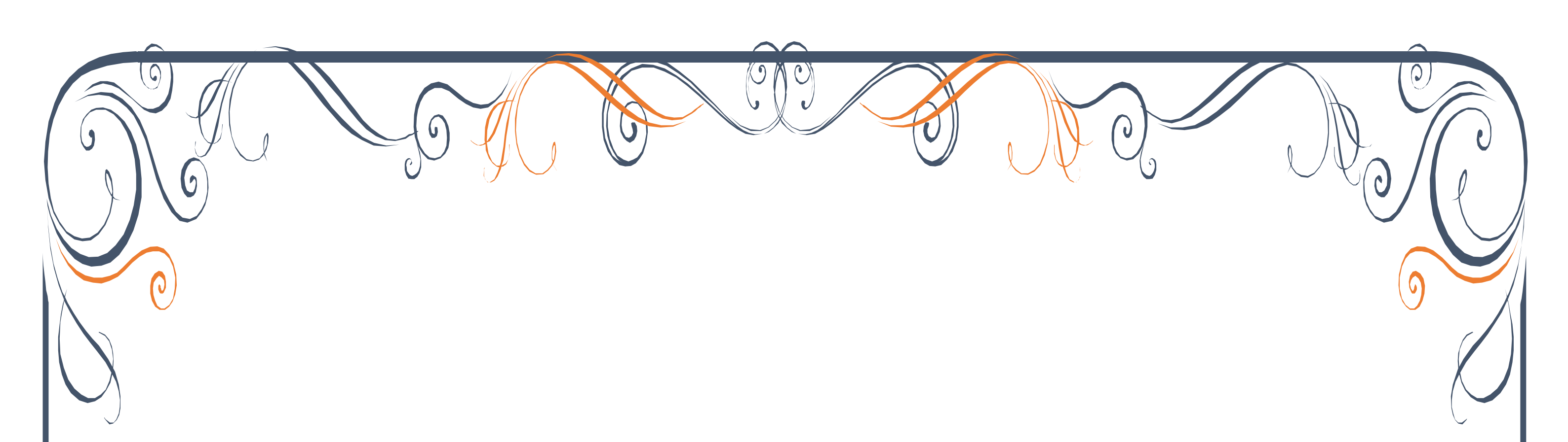




Nominal dimension	Normal play	Max. play (worn)	Nominal dimension	Normal play	Max. play (worn)
$a = 350^{+0}_{-0.06}$	$a_1 + a_2 = ^{0.39}_{0.27}$	0.5	$e = 430^{+0}_{-0.07}$	$e_1 + e_2 = ^{0.47}_{0.33}$	0.7
$A = 350^{+0.46}_{+0.31}$	$b = ^{0.39}_{0.27}$	0.5	$E = 430^{+0.40}_{+0.33}$	$f = ^{0.47}_{0.33}$	0.7
$c = 190^{+5}_{-0.1}$	$c_1 + c_2 = ^{0.70}_{0.10}$	0.3	$h = 20$		
$c = 16$			$i = 10^{\pm 10}$		
$g = 210$	$g_1 + g_2 = 10$	g_1 or g_2 = min. 3			
RD56	Principal Clearances Connecting Rod	All dimension in mm	7409 682 E		

شكل (١٠ ــ ١٤ ب)





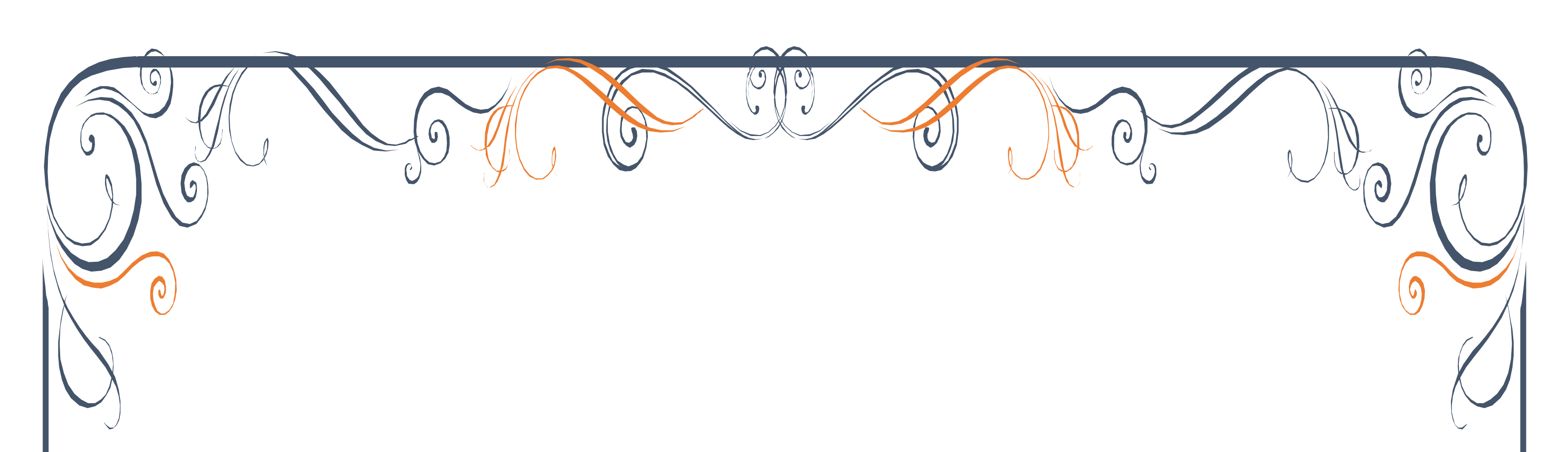
ب) فحص محامل النهاية السفلى : شكل (١٠ ــ ١٤ ب)

- يوضع مرفق الوحدة المعنيه فى ن.م.ع. وتحل مسامير النهاية السفلى ، ويرفع نصف المحمل السفلى .
- يحرك المرفق للخلف قليلاً حوالى ٤٠° .
- توضع مسامير سند فى الأدلة وتستند عليها أحذية الانزلاق ، ويمسك ذراع التوصيل بالحبل .
- يحرك المرفق للخلف كذلك حتى يترك البنز اللقمه ، وعندئذ يمكن فحص اللقم ومراجعة الخلوصات كما سبق (أ) .
- بعد المعاينه يمكن ارجاع المرفق إلى الوضع ٤٠° مع ن.م.ع. وترفع مسامير السند والحبل ، ويعاد المرفق إلى ن.م.ع. ويثبت نصف المحمل السفلى فى مكانه .

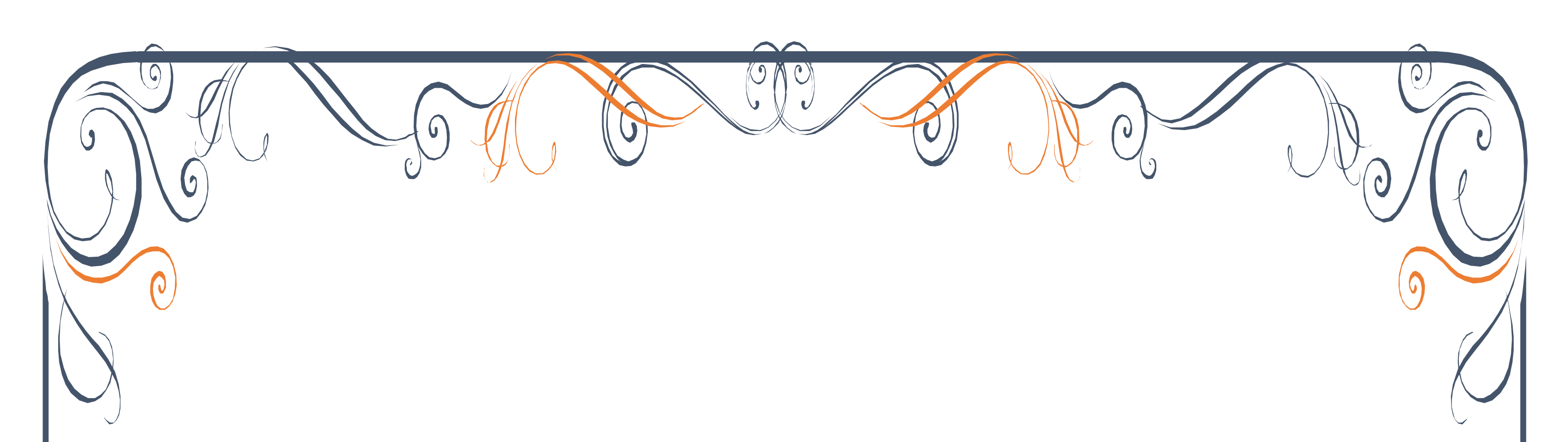
١٠ ـ ٨ تعلميات عامه عن التشغيل والصيانة

General instructions

- لا يسمح بتشغيل المحركات إلا بمعرفة أفراد مدربين ، ولا يسمح بنزول غرفة الماكينات إلا للمختصين .
- يجب الاحتفاظ بدفتر أحوال لكل محرك Engine log-book ويقيد فيه القراءات والبيانات الهامه التى تخص المحرك مثل (عدد ساعات التشغيل ــ الاستهلاك الفعلى للوقود ــ الأعطاب وكيفية علاجها ــ أعمال الصيانة والإصلاح ــ حالة زيوت التزييت) .
- الاحتفاظ بالعدد الخاصة وقطع الغيار بحالة سليمه كما تم توريدها من ناحية التغليف والتشحيم ، وتكون جاهزة وفى متناول الأيدى لسهولة الحصول عليها عند الطلب .
- أخذ الكروت البيانيه دورياً وتحديد القراءات الأساسيه مثل ضغط الانضغاط وأقصى ضغط ، ودرجة حرارة العادم والاستهلاك النوعى للوقود والزيوت ومقارنتها بالنتائج الأولى عند اختبار المحرك بالمصنع .

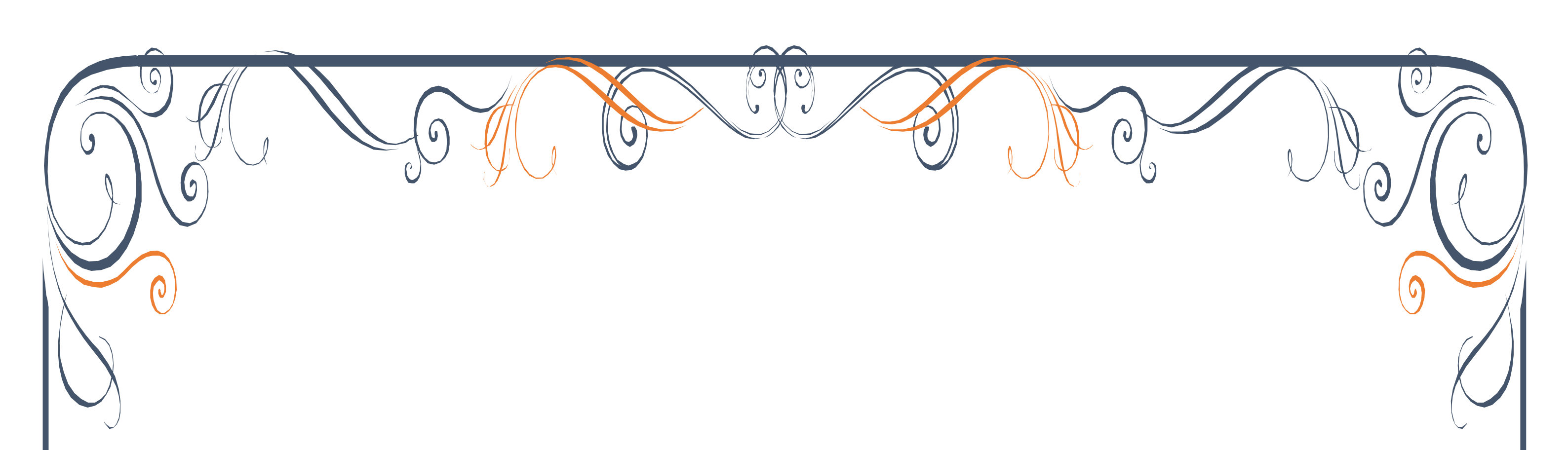


- اختبار زيت التزييت دورياً للتأكد من صلاحيته للاستعمال ، وإرسال عينة للمعمل إذا لزم الأمر .
- تراعى تعليمات الأمن بكل دقة أثناء التشغيل وتعلن هذه التعليمات فى غرفة الماكينات .
- تستخدم معدات وروافع سبيق اختبارها وتكون مناسبه للأحمال المراد رفعها وتتخذ جميع الاحتياطات لعدم سقوط الأجزاء أو اندفاعها بقوة اليای مثلاً .
- يجب تصريف الضغط من جميع المواسير قبل البدء فى الإصلاح ولا يجرى اصلاح أجزاء الحركة إلا بعد فتح جزرات المبين .
- قبل البدء فى فك أجزاء المحرك يجب تفهم التصميم جيداً وإعداد المكان المناسب النظيف،ووضع الأجزاء على قطع خشبية وتجهيز المعدات وأجهزة الرفع اللازمة. ويراعى أن سرعة اتمام العمرة تعتمد تماماً على توافر العدد و المعدات المناسبة .
- يجب التحقق من وجود العلامات والماركات على الأجزاء لإعادتها فى أماكنها تماماً ، كما يجب وضع كروت على الأجزاء المرسلة للورش الخارجيه موضحاً بها (اسم السفينه ــ المحرك المأخوذ منه ــ اسم الجزء ــ الرقم الكودى لهذا الجزء) .
- بعد إنهاء الإصلاح تأكد من رفع جميع الأوساخ والعدد والكهنه من حيز عمود المرفق واختبر الخلوصات والرباط ، وقبل إعادة تشغيل المحرك بعد الاصلاح يجب إدارته أولاً بجهاز التقليب Turning-gear والتأكد من أن جميع أجزاء الحركة تتحرك بسهولة .



أسـئلـه

١. تكلم عن جميع الخطوات التى تتخذ لتحضير المحرك الرئيسى للتشغيل وكيفية بدء الحركة .
٢. ما هى الأعمال التى يقوم بها مهندس النوبه ؟ أذكر القراءات والبيانات الواجب تسجيلها فى دفتر أحوال الماكينه .
٣. ما هى الاخطوات التى تجرى بعد إيقاف المحرك الرئيسى ؟
٤. أذكر الأسباب التى تؤدى إلى :
   أ) رفض دوران المحرك على الوقود .
   ب) نقص سرعة المحرك .
٥. علل ما يأتى :
   ـ حدوث دق بالاسطوانه .
   ـ ارتفاع وانخفاض سرعة المحرك .
   ـ انخفاض ضغط الانضغاط .
٦. ما هو التصرف الواجب اتباعه من مهندس النوبه عند ملاحظة الآتى ، وما هى الأسباب المؤدية لذلك :
   ـ ارتفاع درجة حرارة أحد المحامل .
   ـ ظهور دخان أسود كثيف من المدخنة .
   ـ توقف المحرك فجأة .
٧. وضح الصعوبات عند أخذ الكروت البيانيه لاسطوانات محركات الديزل السريعة والمتوسطه .
٨. أشرح كيف يمكن عمل موازنه قدرات اسطوانات محرك ديزل متوسط السرعه ، وما هو تأثير التشغيل بدون اتزان القدرات ولمدد طويله .
٩. كيف يمكن تحديد العيوب التالية أثناء تشغيل المحرك، وما أسبابها :
   ـ احتراق متأخر .
   ـ اشتعال مبكر .



الباب الحادى عشر

ديناميكا محركات الاحتراق الداخلى

Internal combustion engine dynamics

(١١ ـ ١) القوى المؤثرة على أجزاء الحركة

Forces applied to crank gear parts

الوظيفة الرئيسية لأجزاء الحركة فى المحرك الديزل Engine mechanism هى تحويل الحركة الترددية للمكبس إلى حركة دورانيه لعمود المرفق ، وبذلك يتحول ضغط الغازات فى الاسطوانه إلى عزم دوران Torque على عمود المرفق .

وتتكون هذه القوى من :

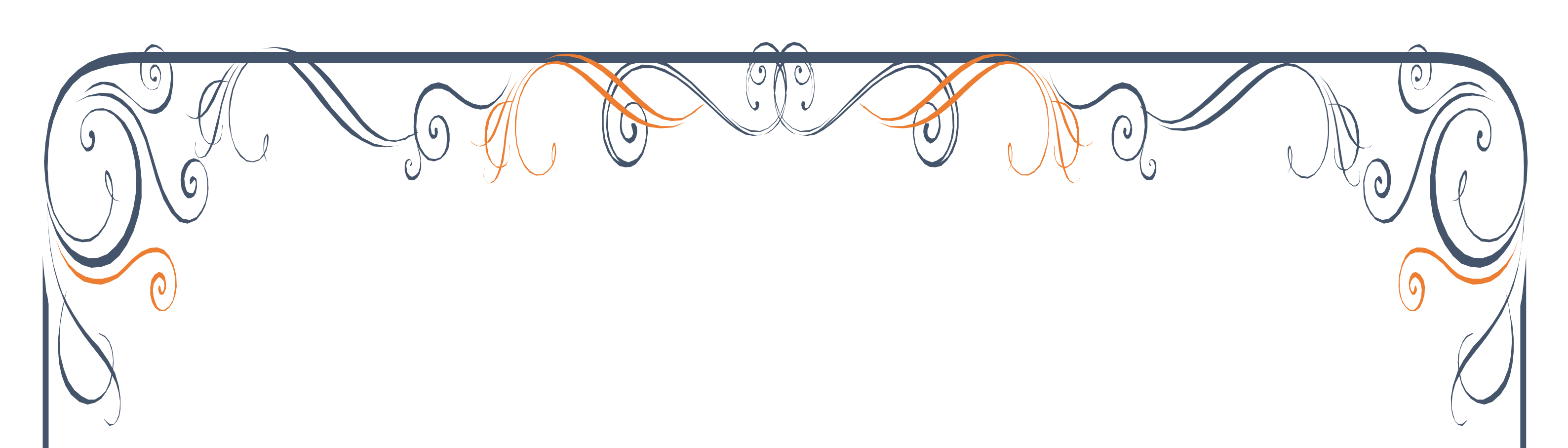
أ. قوى ضغط غازات الاحتراق داخل الاسطوانة .

ب. قوى القصور الذاتى لأجزاء الحركة .

ج. وزن مجموعة المكبس (ويمكن إهمالها لصغرها) .

وفى حالة السرعات البطيئة تكون قوى الغازات هى القوى الغالبه ولكن فى حالة السرعات العاليه تزيد قوى القصور الذاتى زيادة كبيره بحيث تصبح موضع اهتمام بالغ من المصمم وتنقل محصلة قوى ضغط الغازات وقوى القصور الذاتى عبر أجزاء الحركة إلى عمود المرفق حيث تبذل عزم الدوران وذلك بعد أن تنقص بمقدار فقد الاحتكاك .

ولحساب قوى القصور الذاتى للأجزاء المختلفه ينبغى أن نبدأ بدراسة حركة الأجزاء وسنعرض هنا ملخص لنوعى الحركة الأساسيين .



- انسداد جزئى بثقوب الفونيه .
- تفويت فى حلقات المكبس .

١٠. كيف يمكن مراجعة قدرات الوحدات لمحرك ديزل متوسط السرعه ، وما هو تأثير التشغيل لفترات طويله بقدرات مختلفه ، وكيف يتأكد مهندس النوبه من تساوى التحميل على جميع الوحدات ؟

١١. تكلم عن تأثير تواجد كميات كبيرة من الكربون عند بوابات العادم على تشغيل المحرك الديزل .

أذكر كيف يمكن ظهور ذلك على الكرت البيانى .

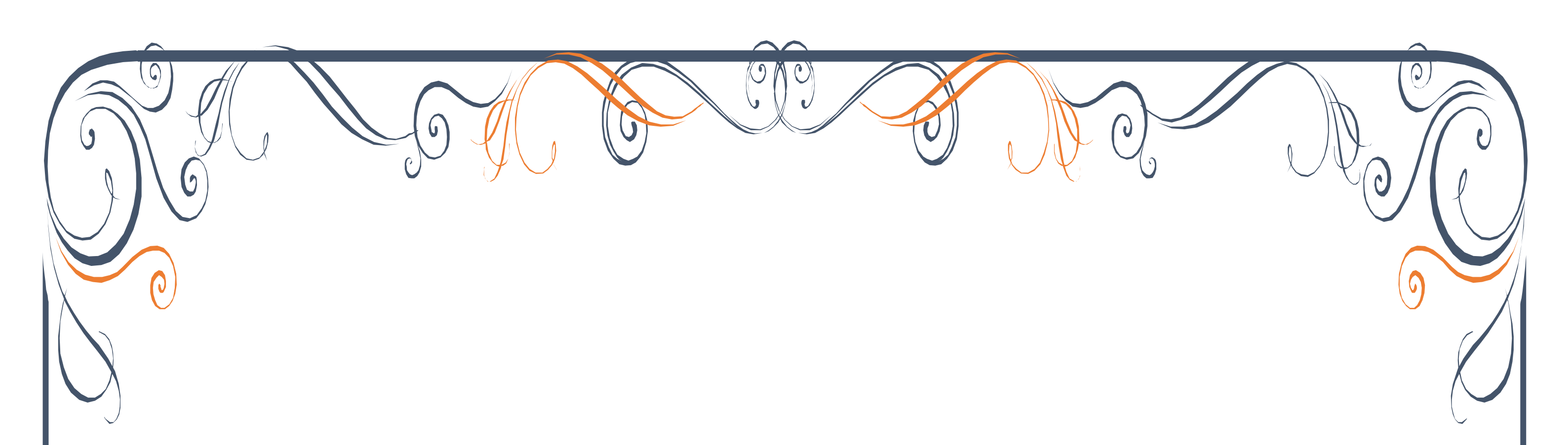
١٢. وضح على الكروت البيانيه العيوب التاليه واذكر تأثيرها على تشغيل المحرك :

- انسداد فى فلتر الهواء .
- تأخر فتح صمام العادم .
- وجود ضغط خلفى عالى .
- انسداد ببعض ثقوب الحاقن .
- تسييل بالحاقن .
- نقص فى ضغط هواء الكسح .

١٣. تكلم بالتفصيل عن كيفية الكشف على لقم محمل النهاية السفلى لذراع توصيل محرك ثنائى الأشواط .

١٤. أشرح كيفية صيانة الحاقن والاختبارات التى تجرى عليه .

١٥. تكلم عن كيفية قياس البري فى القميص ، واذكر متى يجب تغييره ، واذكر الخطوات الواجب إتباعها لرفع القميص وإحلال آخر محله .



١١ ـ ٢ الحركة وقوى القصور الذاتى

Motion and inertia forces

Reciprocating motion : الحركة الانتقاليه

عندما يتحرك جسم على خط مستقيم بحيث يبقى دائماً أى خط فيه موازياً لنفسه فإنه تعرف هذه الحركة بالحركة الانتقالية المحضه .

بالنظر للشكل (١١ ــ ١) نجد أن وضع الجسم m على الخط المستقيم يتحدد بالمسافه x

وأن سرعته تكون $v = \frac{dx}{dt}$

وعجلته تكون $a = \frac{d^2x}{dt^2}$

وإذا كانت كتلته m والقوة المؤثرة عليه F

شكل (١١ ــ ١)

فإن العلاقة التى تربط بين القوة والكتلة والعجلة هى قانون " نيوتن " الثانى وهو :

$$F = m \times a$$

$$\text{Or} \quad F + (-m \times a) = 0$$

ومن هذه المعادلة يمكننا اعتبار الجسم فى وضع اتزان تحت تأثير قوتين هما : القوى الخارجية F ، والقوة ($-m \times a$) والتى تسمى بقوة القصور الذاتى ، وهى تساوى فى المقدار : حاصل ضرب الكتلة × العجلة ـ واتجاهها عكس اتجاه العجلة الأصلية.

Rotary motion: الحركة الدورانيه

إذا دار جسم حول محور ثابت فإنه يقال أن الجسم يتحرك حركة دورانية محضة .

بالنظر للشكل (١١ ــ ٢) يدور الجسيم حول محور عمود يمر بالنقطة O بسرعة زاوية ω وعجلة زاوية ∝ وعلى بعد نصف قطر r من مركز الدوران O .

السرعة الخطية للحسم هى v وتساوى حاصل ضرب ω × r واتجاهها مماس لدائرة الدوران وفى اتجاه ω .



شكل (١١ ــ ٢)

ولعجلة الجسم مركبتين هما :

أ ــ مركبة مماسة Tangential لدائرة الدوران

(وهى عموديه على r) وفى اتجاه دوران $\propto$

وتساوى حاصل ضرب $\propto \times r$

(أنظر شكل ١١ ــ ٣) .

شكل(١١ ــ ٣)

ب ــ مركبة مركزية Centrifugal فى اتجاه (r) واتجاهها نحو المركز (O)

وتساوى $\omega^2 \times r$.

وعليه نستنتج أن مركبتى قوى القصور الذاتى شكل (١١ ــ ٤) هما :

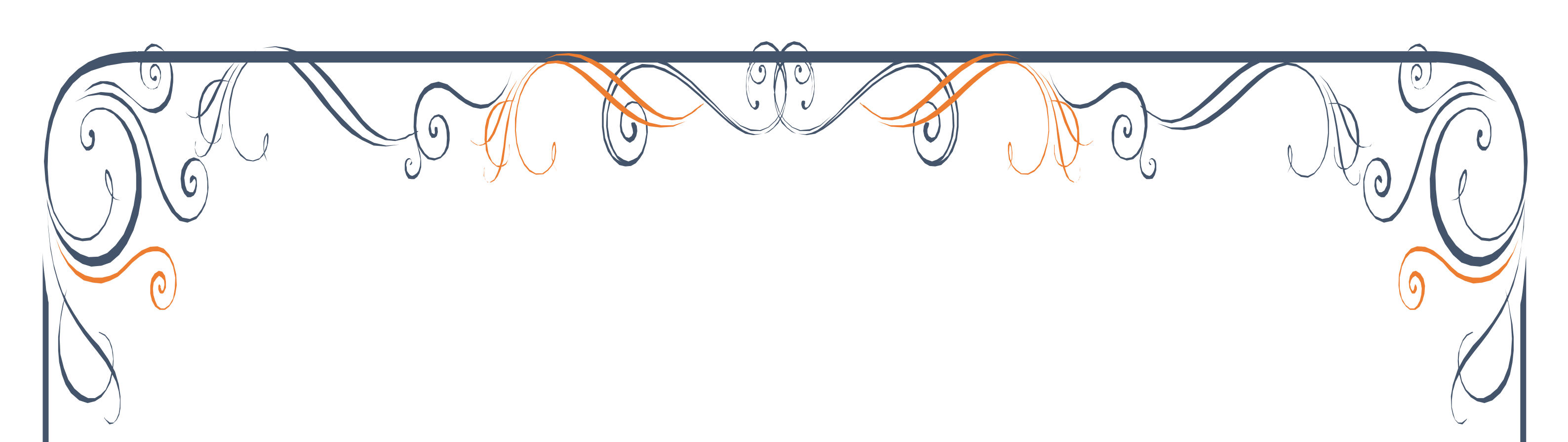
مركبة عموديه على نصف القطر r وتدور فى عكس الاتجاه ومقدارها $m.\propto.r$

ومركبه فى اتجاه r ومتجهة من المركز إلى الخارج ومقدارها $mr\omega^2$ وتسمى قوة الطرد المركزى Centrifugal force .

وبأخذ عزم مركبتى قوة القصور الذاتى حول المركز O نجد أن قوة الطرد المركزى لا تعطى عزماً لأنها تمر بالمركز O ،

وبذلك يكون عزم قوة القصور الذاتى مساوياً لعزم القوة المماسة = $m\propto r \times r = m\propto r^2$.

ـ ومما سبق يمكن تحديد كلاً من حركة المكبس والمرفق كالآتى : شكل (١١ ــ ٤)



أولاً : حركـــــــــة المكبس : Piston motion

بالرجوع لأجزاء الحركة فى المحرك نجد أن حركة المكبس فى الاسطوانه هى حركة انتقالية ، وتسمى أعلى نقطة يصل إليها المكبس بالنقطة الميتة العليا .T.D.C وتسمى أوطى نقطة يصل إليها بالنقطة الميتة السفلى .B.D.C وتقاس إزاحة المكبس بالمسافة بينه وبين النقطة الميتة العليا ويرمز لها بـ χ وتنعدم سرعة المكبس عند النهايتين .

بالرجوع للشكل (١١ ــ ٥) نجد أن :

In Δ ABC

$$\frac{\sin\Theta}{r} = \frac{\sin\varphi}{L}$$

شكل (١١ ــ ٥)

$$\therefore \quad \sin\Theta = \frac{r}{L}\cdot\sin\varphi$$

$$\text{and} \quad \cos\Theta = [1-(\frac{r}{L})^2\sin^2\varphi]^{\frac{1}{2}}$$

$$\chi = r + L - (r\cos\varphi + L\cos\Theta)$$

or

$$= r\left[(1-\cos\varphi)+\frac{r}{4L}(1-\cos2\varphi)+\ldots\ldots\ldots\right]$$

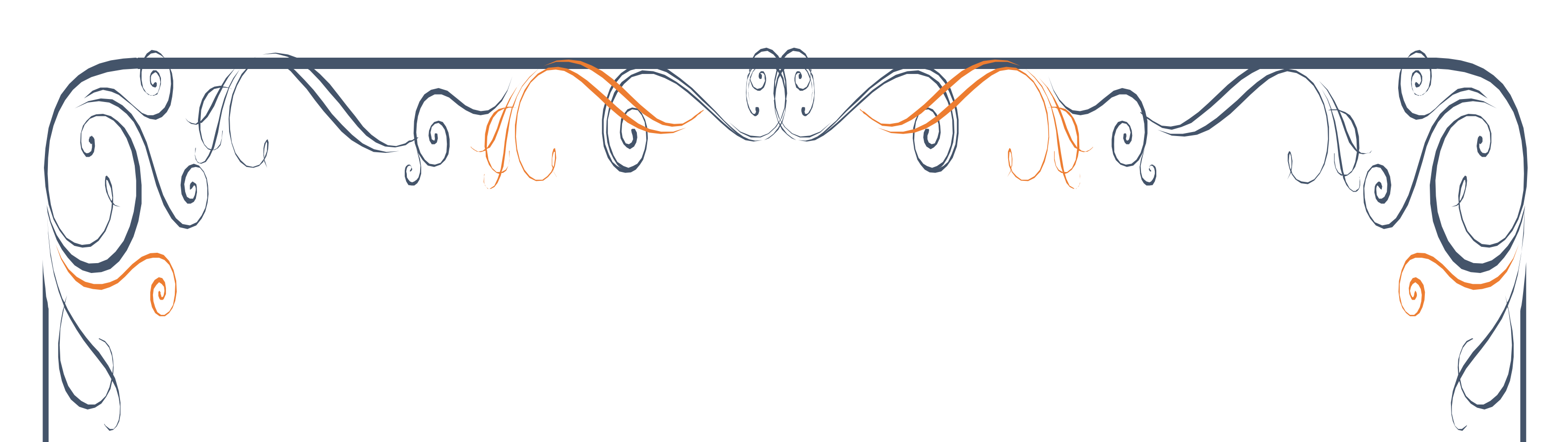
بتفاضل χ بالنسبة للزمن " t " والتعويض عن $\frac{d\varphi}{dt}$ بالسرعة الزاوية ω نجد أن :

$$v = r\omega\,(\sin\varphi + \frac{r}{2L}\sin2\varphi)$$

وبتفاضل v بالنسبة للزمن " t " نحصل على العجلة الآتية :

$$a = r\omega^2(\cos\varphi + \frac{r}{L}\cos2\varphi)$$

وحيث أن $\frac{r}{L}$ لجميع محركات الديزل تكون فى حدود $\frac{١}{٤}$ أو $\frac{١}{٥}$ فإن قيمة



الحد $\frac{r}{L}\cos 2\varphi$ تعتبر صغيرة ويمكن اهمالها فى بعض الأحيان وعندئذ تكون العجله :

$$a = r\omega^2 \cos\varphi$$

وتكون قوى القصور الذاتى للأجزاء الترديديه الحركة هى $M_{rec}.a$ وثابتة الاتجاه ولكن متغيرة المقدار .

ثانياً : حركة المرفق : Crank motion

هى حركة دورانيه حول محور عمود المرفق، ويتحدد وضع المرفق بالزاويه بينه وبين وضعه فى حالة وجود المكبس عند النقطة الميتة العليا (كما هو واضح بالزاويـة علـى الشكل (١١ ـ ٥)).

ويتحرك ذراع التوصيل حركة دورانيه وحركة انتقاليه فى نفس الوقت ، أى حركة عامة وهو ما يسمى فى علم الميكانيكا بالقضيب العائم Floating link إذ أن نهايته من ناحيـة المكبس Piston pin تتحرك مع المكبس حركة انتقالية على خط مستقيم ، بينما نهايته من ناحية المرفق Crank pin تتحرك حركة دورانيه حول محور عمود المرفق .

ولتسهيل دراسة قوى القصور الذاتى لأجزاء المحرك فإن كتلة ذراع التوصيل تقسم إلى جزأين ، ثلث كتلة ذراع التوصيل وتوضع عند مفصل المكبس ، أى أنها تتحرك مع المكبس حركة ترديديه ، والجزء الثانى ويساوى ثلثى كتلة ذراع التوصيل وتوضع عند مفصل المرفق أى أنها تتحرك مع المرفق حركة دورانيه .

١١ ـ ٣ قوى القصور الذاتى لأجزاء الحركة فى المحرك

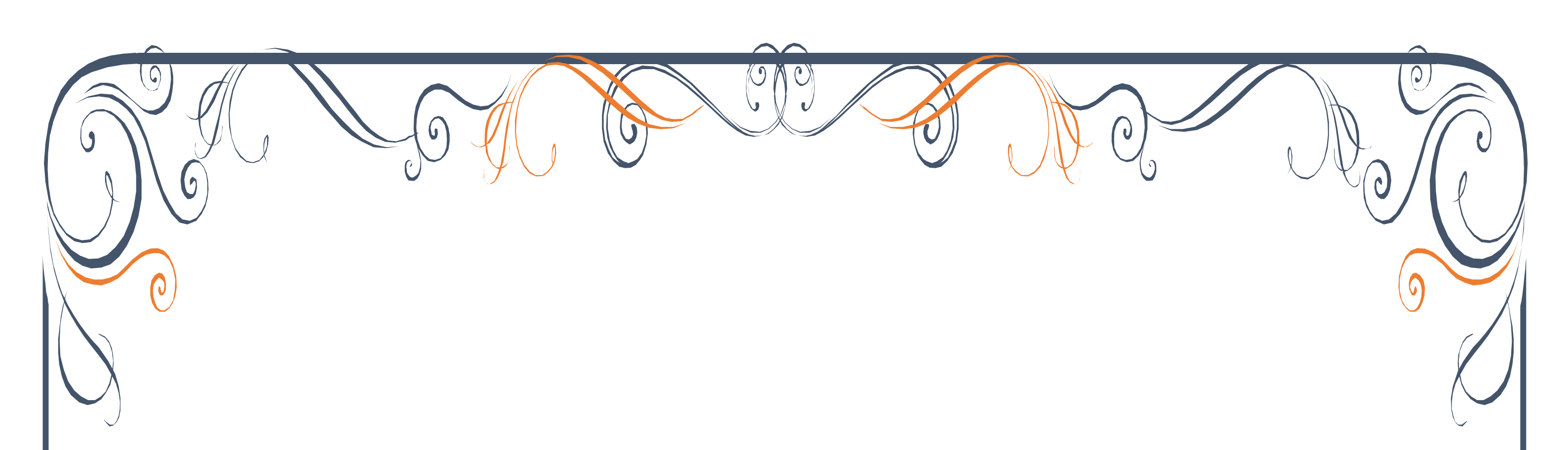
Inertia forces of mechanism

ذكرنا فيما سبق أن لقوى القصور الذاتى أهمية فى دراسة علم ديناميكا المحرك ، وفيما يلى شرح موجز لكيفية ايجاد قوى القصور الذاتى للأجزاء الترديديه والدورانيه الحركة :

أ ـ قوى القصور الذاتى للأجزاء الترديدية الحركة :

سبق أن حددت عجلة حركة المكبس بالآتى :

$$a = r\omega^2(\cos\varphi + \frac{r}{L}\cos 2\varphi)$$



وكتلة الأجزاء الترددية الحركة M_r تساوى كتلة المكبس وثلث كتلة نراع التوصيل فتكون قوة القصور الذاتى للأجزاء الترديه الحركه هى :

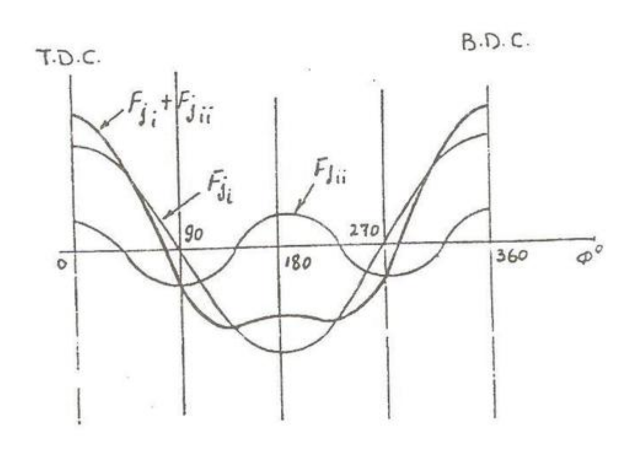
$$Fj = M_{rec} r\omega^2 (\cos\varphi + \frac{r}{L}\cos 2\varphi)$$

$$= M_{rec} r\omega^2 \cos\varphi + M_{rec}\frac{r^2}{L}\omega^2 \cos 2\varphi$$

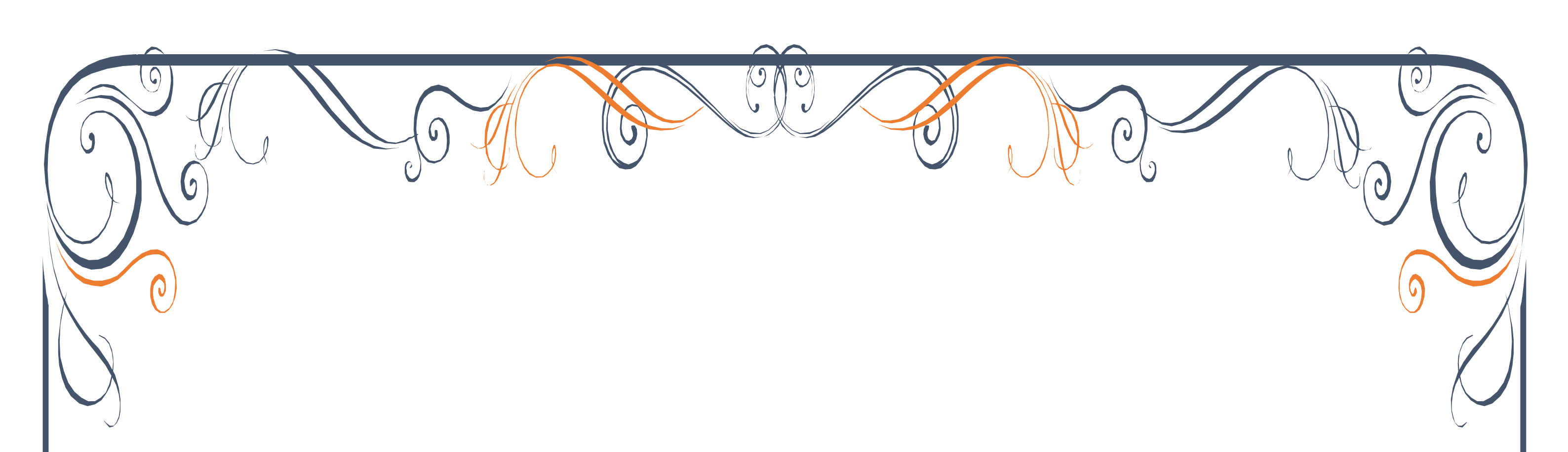
$$= F_1 + F_{11}$$

= primary inertia force + secondry inertia force
(First harmonic) (Second harmonic)

واتجاهها ثابت من مركز الدوران إلى النقطة الميته العليا ومقدارها متغير حسب قيمة φ ويوضح الشكل (١١ ــ ٦) قوى القصور الذاتى الابتدائية والثانوية على مدى دورة كاملة للمرفق ومجموعها . ويلاحظ ان قوة القصور الثانوية أقل كثيراً فى القيمة من الابتدائية ولكن لها ضعف التردد .



شكل (١١ ــ ٦)



ب ـ قوى القصور الذاتى للأجزاء الدورانيه الحركة :

حيث أن سرعة دوران المحرك أساساً ثابتة ، فإن العجلة الزاوية للأجـزاء الدورانيـة الحركة ∝ تساوى صفر . وبذلك تختصر قوى القصور الذاتى للأجزاء الدورانية الحركـة إلى قوى الطرد المركزى ويرمز لها بالرمز F_c حيث أن :

$$F_c = M_{rot} \cdot r\omega^2$$

حيث أن M_{rot} تساوى مجموع كتل : فخذتى المرفق والبنز وثلثى ذراع التوصيل .

١١ ـ ٤ تحليل القوى المؤثرة على أجزاء الحركة فى المحرك

Force analysis of engine mechanism

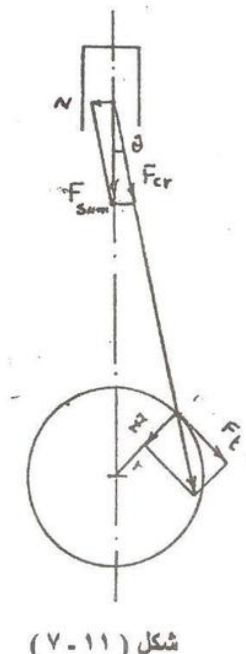
كما سبق ذكره فإن أجزاء الحركة تتعرض لقوى ضغط غازات الاحتراق فى الاسطوانه وقوى القصور الذاتى .

بالنظر إلى الشكل (١١ ـ ٧) نجـد أن محصلـة هاتين القوتين وهى F_{sum} تؤثر فـى بنـز المكـبس ، ونتيجة لميل ذراع التوصيل يتم تحليلها إلـى مـركبتين أحداهما تؤثر على طول ذراع التوصـيل F_r والأخـرى عمودية على محور الاســطوانة N وتسمى قوة الدفع الجانبى Side-thrust وهى تساوى :

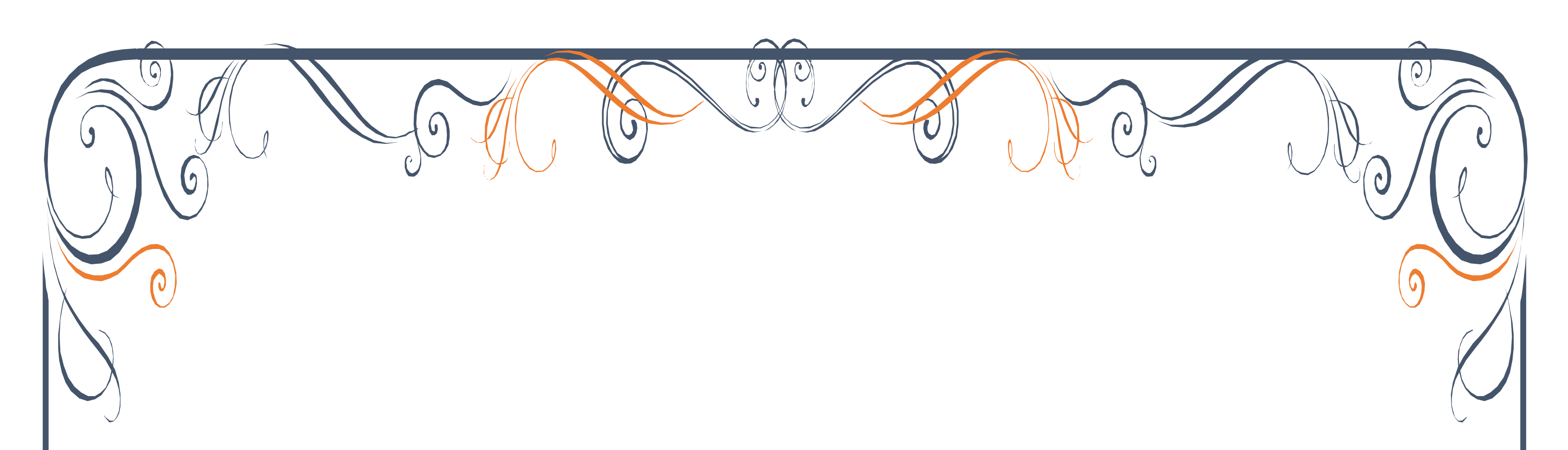
$$N = f_{sum} \cdot \tan\Theta$$

كذلك يمكن تحليل القوة F_{cr} إلى مركبتين تؤثران على المرفق عند مفصله وهما :

ـ F_t وهى القوة المماسة Tangential force وهى التى تبذل الشغل فى إدارة المحرك ، إذ أنها هـى التي تبذل عزم حول محور الدوران وهـو عـزم اللى T ويساوى........ $T = F_t \times r$

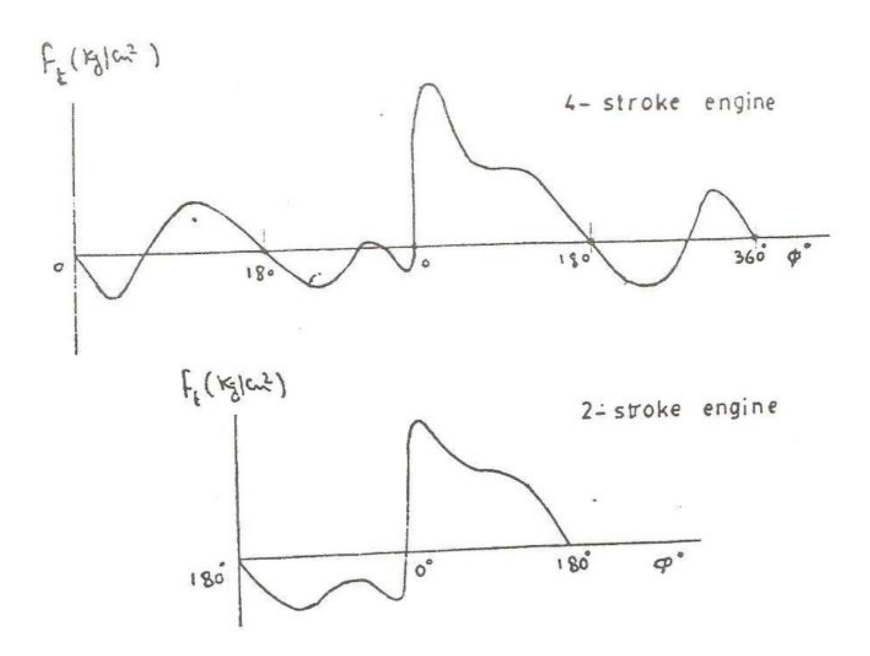


شكل (١١ ـ ٧)



ـ أما Z فهى تؤثر فى اتجاه محور المرفق (ولا تبذل عزم) ويضاف إليها قوى الطرد المركزى F_c الثابتة المقدار والمتغيرة الاتجاه .

ـ وحيث أن نصف القطر r مقدار ثابت ، فإن منحنى تغير F_t مع الزاوية هو نفسه منحنى تغير T (مع اختلاف مقياس الرسم) وهو مبين بالشكل (١١ ـ ٨) لمحرك مكون من اسطوانه واحدة رباعى وثنائى الأشواط .

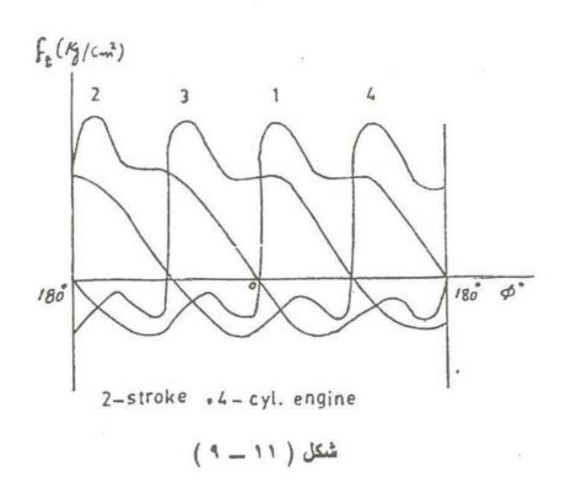


شكل (١١ ـ ٨)

ويلاحظ من الشكل السابق ان عزم اللى T أو F_t يتغير كثيراً مع زاوية دوران المرفق ، وربما يغير إشارته من سالب إلى موجب لعدة مرات فى الدورة الواحدة .

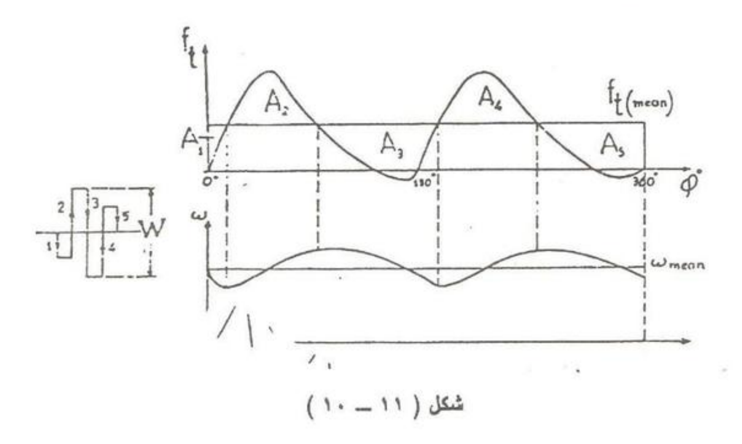
هذا بالنسبة للمحرك ذى الاسطوانه الواحدة ، أما بالنسبة لمحرك متعدد الاسطوانات فإن منحنى عزم اللى للمحرك هو مجموع منحنيات عزم اللى للاسطوانات المختلفة ـ وهى جميعاً متطابقة فى الشكل ، ولكن تختلف عن بعضها بزوايا تسمى زاوية اختلاف الوجه Phase angle كما هو واضح فى الشكل (١١ ـ ٩) .



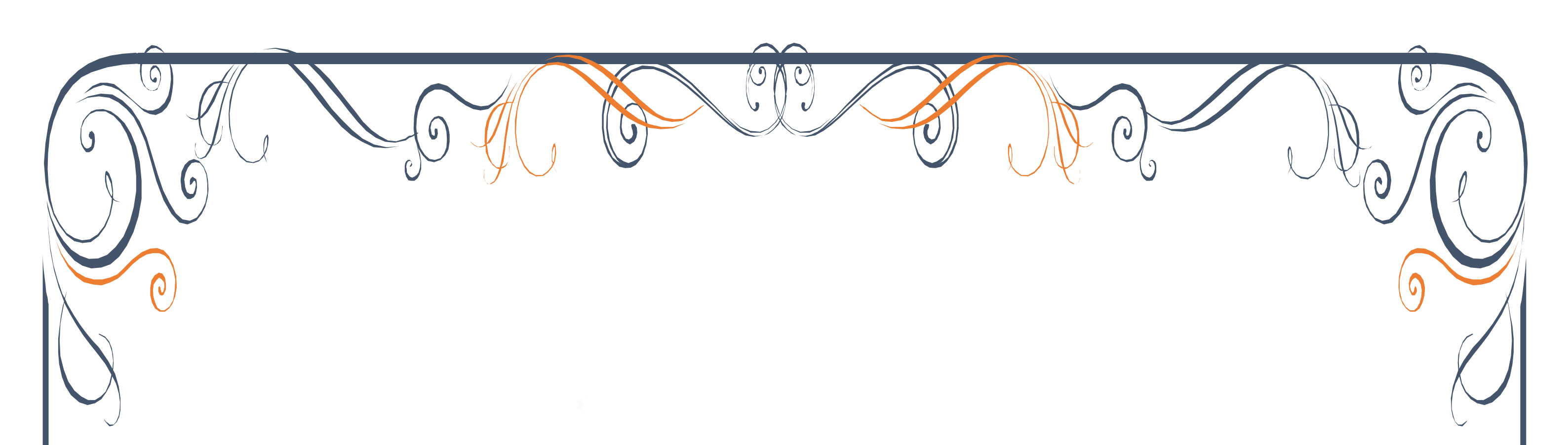


شكل (١١ ـ ٩)

ومن المنحنى المحصل نجد أن المساحات التى فوق القيمة المتوسطة تمثل طاقة زائدة فى وقت ما ، والمساحات التى تحت القيمة المتوسطة تمثل نقص فى الطاقة فى وقت آخر كما هو واضح فى الشكل (١١ ـ ١٠) .



شكل (١١ ـ ١٠)



هذه الزيادة والنقص فى الطاقة تعمل على تغيير السرعة الزاوية (ω) أثناء الدورة – وهذا التغير يقدر بمعامل الاستقرار Coefficient of steadiness ويرمز له بالرمز δ .

حيث أن :

$$\delta = \frac{\omega_{max} - \omega_{min}}{\omega_{mean}}$$

where

$$\omega_{mean} = \frac{\omega_{max} + \omega_{min}}{2}$$

ومن هذا يمكن إثبات أن :

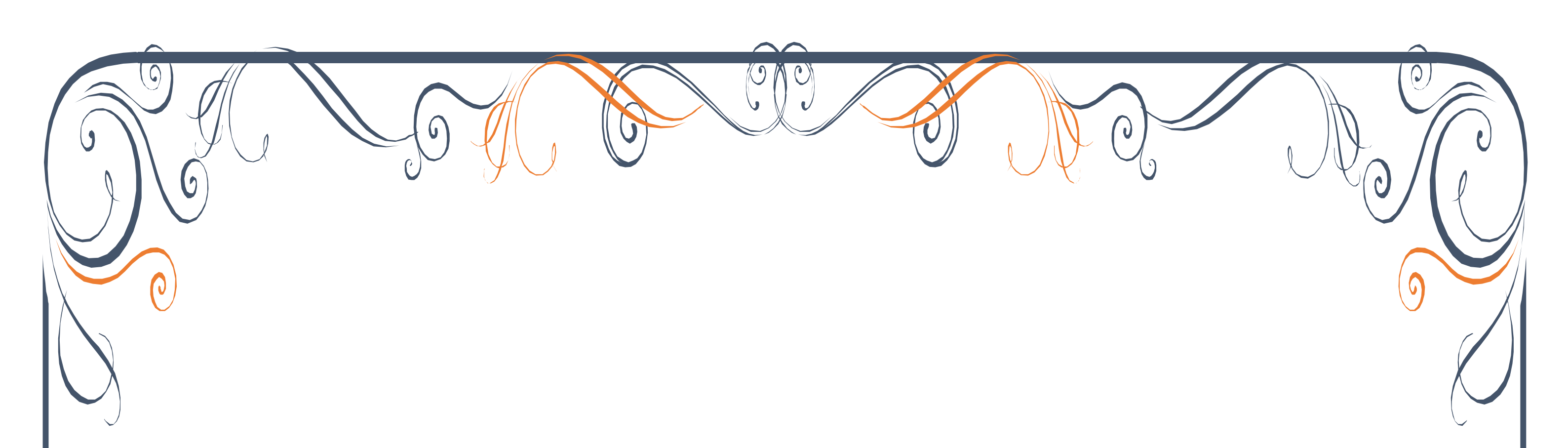
$$\delta = \frac{W}{I_{pr} \times \omega_{mean}^2}$$

حيث أن W هى أقصى تغير فى طاقة الحركة للأجزاء الدواره والمتسببه عن تغير السرعه الزاويه للعمود من ω_{max} إلى ω_{min} و I_{pr} هى محصلة عزوم القصور الذاتى لجميع الأجزاء الدوارة فى المحرك وعمود الرفاص وهى ثابتة تقريباً .

وعليه يمكن ملاحظة أن معامل الاستقرار δ يعتمد على عزم القصور الذاتى للأجزاء الدواره باعتبار أن ω, W, ذات قيم ثابتة تقريباً ، وبذلك يمكن القول أن زيادة عزم القصور الذاتى تقلل معامل الاستقرار أى تقلل من تغيرات السرعه حول قيمتها المتوسطه ، ولذلك تستخدم الحدافه حيث أنها عبارة عن دوار ذو عزم قصور ذاتى كبير .

وتكون قيمة δ للمحركات المتصلة مباشرة بالرفاص من $\frac{١}{٢٠}$ إلى $\frac{١}{٥٠}$ بدون الوضع فى الاعتبار كتلة الماء المحصورة بالرفاص وعمود الرفاص والرفاص .

أما بالنسبة للمحركات التى تدير المولدات الكهربية ذات التيار المستمر فتكون قيمتها من $\frac{١}{١٠٠}$ إلى $\frac{١}{٢٠٠}$ وبالنسبة للتيار المتغير تكون قيمتها $\frac{١}{٢٥٠}$ إلى $\frac{١}{٣٠٠}$.



١١ ـ ٥ اتزان المحرك Engine balancing

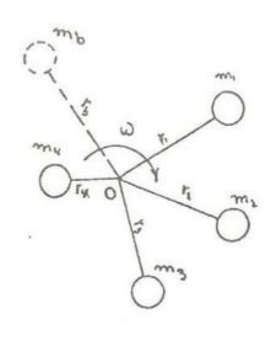
قبل البدء فى دراسة اتزان المحرك يمكن دراسة موازنة مجموعة من الكتل فى نفس المستوى وأخرى فى مستويات مختلفة .

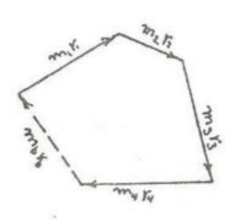
١١ ـ ٥ ـ ١ موازنه مجموعة من الكتل فى نفس المستوى :

اعتبر الكتل m_1 , m_2 , m_3 , m_4 تدور بنفس السرعة الزاويه ω وفى نفس المستوى حول المركز (O) وأبعادها عن المركز على التوالى r_1, r_2 , r_3 , r_4 شكل (١١ـ١١) ، فتولد قوة طاردة مركزية مقدارها , $m_1\ r_1\ \omega^2$, $m_2\ r_2\ \omega^2$ .... ويمكن موازنة هذه الكتل بكتلة واحدة m_b على بعد r_b بحيث تكون على امتداد محصلة المتجهات r_b . m_b ، ولكن مختلفة معها فى الاتجاه ويمكن الحصول على ذلك بيانياً برسم مضلع المتجهات Vector diagram كما يلى :

نرسم كلاً من $m_1.r_1$ يوازى r_1 ومتجه من O إلى m_1 وكذلك r_2 . m_2 يوازى r_2 ومتجه من O إلى m_2 .... وهكذا .

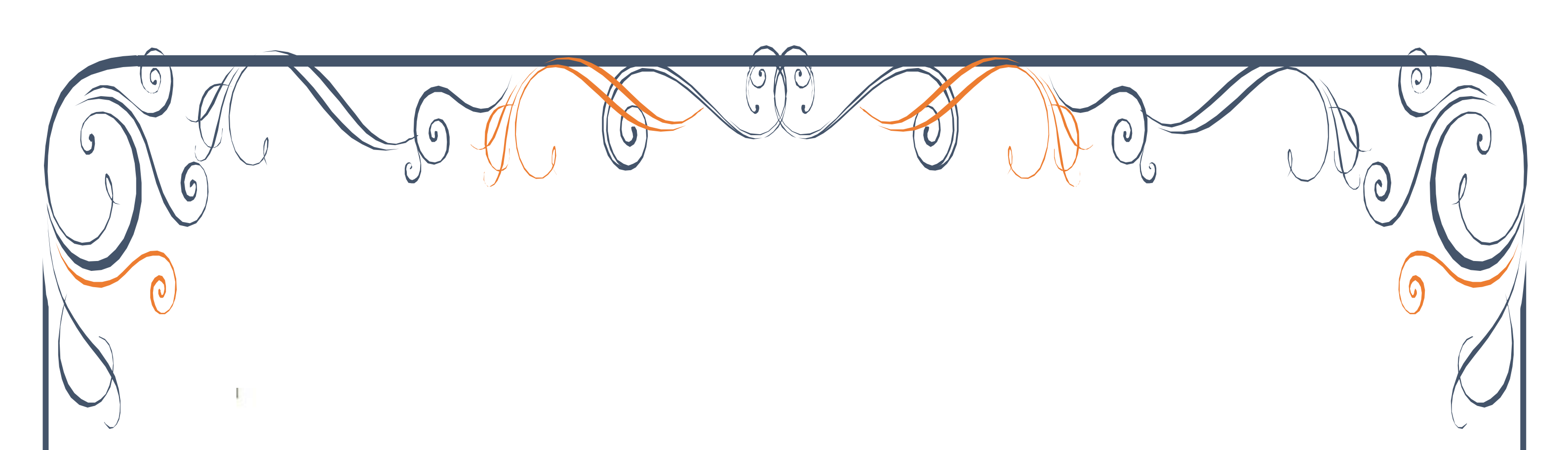
فتكون المحصله $m_b.r_b$ ، والمتجه الموازن للمجموعه فى الاتجاه المضاد ويتكون من أى قيمة للكتلة m_b على بعد ذراع مناسب r_b بحيث يكون حاصل ضرب r_b . m_b مقدار ثابت .





شكل (١١ ـ ١١)





١١ ــ ٥ ــ ٢ : موازنة مجموعة من الكتل فى مستويات مختلفة :

لو فرضنا أن المجموعة مكونه من كتل دواره تدور حول محور الإدارة ولكنها فى مستويات مختلفة عمودية على المحور شكل (١١ ــ ١٢ أ) فإن القوة الطاردة المركزية لهذه المجموعة تولد ازدواجات Couples ، ولموازنة هذه المجموعة تماماً يجب موازنة القوى والعزوم .

وكما هو معروف فإن الازدواجات تعتبر أيضاً كميات متجهة ولذا فيمكن إيجاد محصلتها بيانياً باستخدام مضلع العزوم .

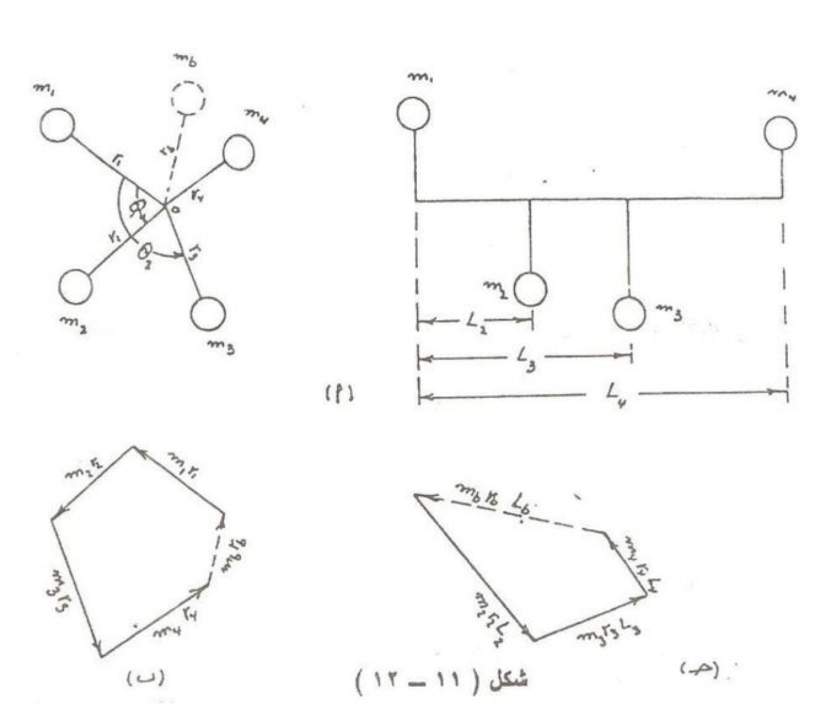
ولو فرضنا أن الكتل وبعدها عن محور الدوران كالآتى بالجدول :

mass	radius	lever	center.force	moment	angle	vector
m_1	r_1	0	$m_1r_1\omega^2$	0	0	0
m2	r_2	L_2	$m_2r_2\omega^2$	$m_2r_2\omega^2L_2$	Θ_1	$m_2r_2L_2$
m_3	r_3	L_3	$m_3r_3\omega^2$	$m_3r_3\omega^2L_3$	Θ_2	$m_3r_3L_3$
m_4	r_4	L_4	$m_4r_4\omega^2$	$m_4r_4\omega^2L_4$	Θ_3	$m_4r_4L_4$
m_b	r_b	L_b	$m_br_b\omega^2$	$m_br_b\omega^2L_b$	Θ_b	$m_br_bL_b$

فإن مضلع القوى كما هو فى الشكل (١١ ــ ١٢ ب) وفيه m_1r_1 يوازى r_1 ومتجه من المركز O إلى الخارج وكذلك m_2 r_2 ...... وهكذا .

ومضلـــع العزوم كما هو فى الشكل (١١ ــ ١٢ حـ) وفيه m_2 r_2 L_2 عمـــودياً على r_2 , m_3 r_3 L_3 عمودياً على r_3.... وهكذا .



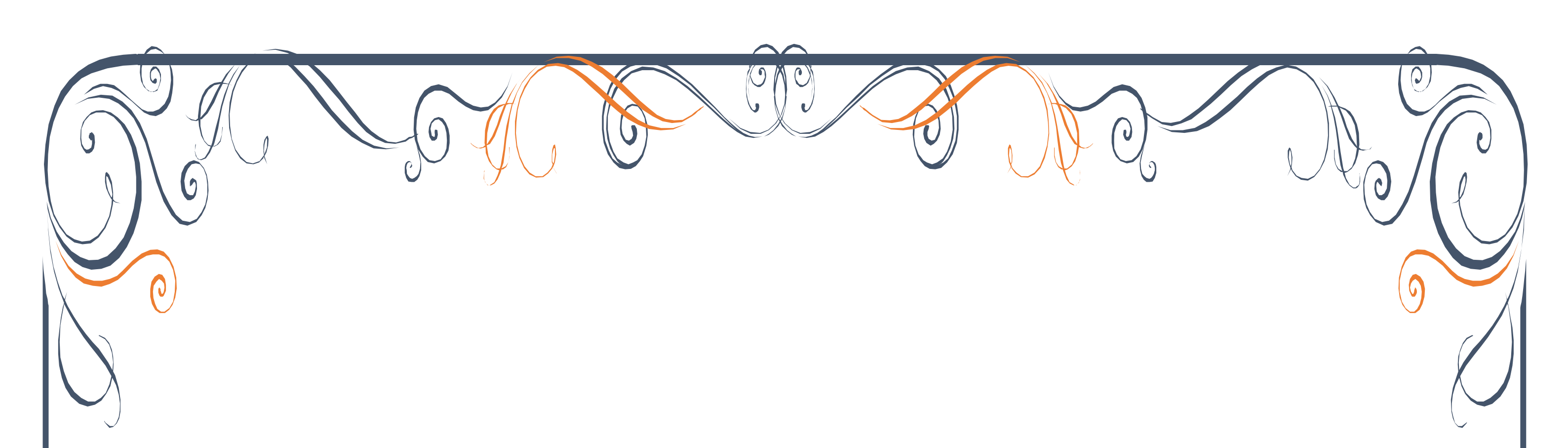


شكل (١١ ــ ١٢)

وواضـــح من مضلع العزوم أنه إذا كانت المتجهات الثلاثة , $m_2 r_2 L_2$, $m_3 r_3 L_3$, $m_4 r_4 L_4$ تصنع مضلعاً مقفلاً ، فإن المحصلة تكون منعدمة ، وبالتالى تكون المجموعة متزنه . أما إذا كانت تصنع مضلعاً غير مقفل ، فإن المجموعه تكون غير متزنه ويكون المتجه الذى يقفل هذا المضلع (فى نفس اتجاه الدوران) هو $m_b r_b L_b$.

وحيث أن $m_b r_b$ تتحدد من مضلع القوى فإنه بمضلع العزوم يمكن تحديد قيمة L_b .

وتعتبر المجموعه الدواره متزنة اتزاناً استاتيكياً Statically balanced إذا كان مضـــلع القوى (المتجهـــات) mr مقفــــــول ، بينما تعتـــبر متزنة ديناميكـــياً Dynamically balanced إذا كان كل من مضلع القوى mr ومضلع العزوم mrL مقفلان .



١١ ـ ٥ ـ ٣ الاتزان الاستاتيكى Static Balancing

يوضع الجسم المراد عمل اتزان له أفقياً على حاملين ذات حواف حادة ، ويتم دحرجته برقة ، فإذا استقر على وضع غير محدد فيعتبر الجسم متزناً استاتيكياً ، حيث لا يوجد أى ازدواج غير متزن ، ويكون مركز ثقله مستقراً على المحور الطولى الأفقى . أما إذا كان مركز الثقل لا يقع على المحور ، فعند دحرجة الجسم فسوف يستقر على وضع محدد يكون فيه مركز الثقل واقعاً بالنصف السفلى لمستوى التماثل الرأسى .

١١ ـ ٥ ـ ٤ : الاتزان الديناميكى Dynamic Balancing

يجب أن يكون الجسم الدوار متزناً ديناميكياً وليس استاتيكياً فقط ، حيث يمكن أن يكون الجسم المنتظم الشكل (الاسطوانى مثلاً) غير متزناً نتيجة لعدم تجانس تكوينه وتركيبه . وينتج عدم الاتزان هذا من القوة الطاردة المركزية المختلفة القيم على طول الجسم .

ويتم عمل الاتزان الديناميكى للجسم بتحديد الازدواج الموجود والمسبب لعدم الاتزان وعمل المضاد له إما بإزالة جزء أو بزيادته ، ويتم ذلك عادة على سطوح النهايات ، والجسم المتزن ديناميكياً متزن استاتيكياً .

١١ ـ ٦ موازنة قوى القصور لأجزاء الحركة لمحرك مكون من اسطوانه واحدة

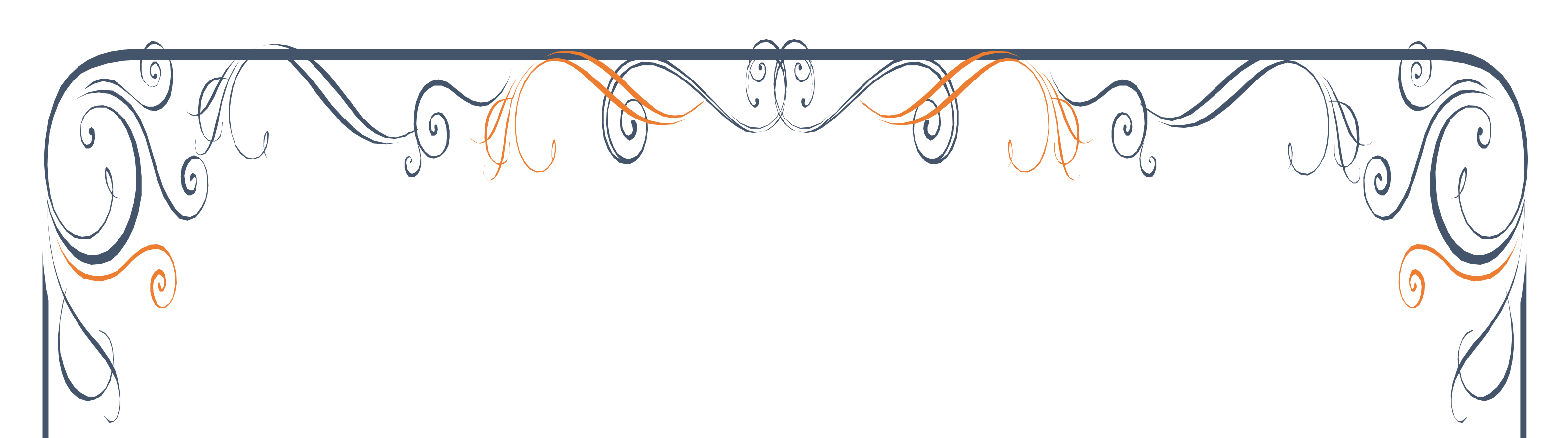
Balancing of inertia forces of one cylinder-engine

حصلنا فيما سبق على قوى القصور الذاتى لأجزاء الحركة المختلفة للمحرك الديزل ووجدنا أنها تتلخص فى نقطتين :

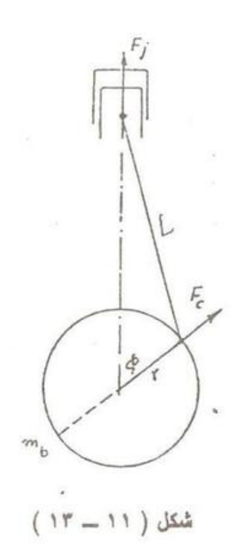
أ) قوة القصور الذاتى للأجزاء ترددية الحركه ، وتؤثر دائماً على محور الاسطوانه ومقدارها يتغير مع زاوية عمود المرفق .

ب) قوة القصور الذاتى للأجزاء دورانية الحركة (قوة الطرد المركزى) ومقدارها ثابت ($M_{rot} . r \omega^2$) وتدور مع دوران عمود المرفق .

وقد ذكرنا فيما سبق أن قوى القصور تزيد بزيادة سرعة المحرك ونتيجة لزيادتها تزيد اهتزازات المحرك وتنتقل إلى المحامل والفرش والبدن ، لذلك يجب محاولة موازنة هاتين القوتين بقدر الإمكان لتقليل هذه الاهتزازات .



نبدأ بدراســـة الطريقـــة العملية لموازنـــة محرك مكون من اســـطوانه واحـــدة (شكل ١١ ــ ١٣) :



شكل (١١ ــ ١٣)

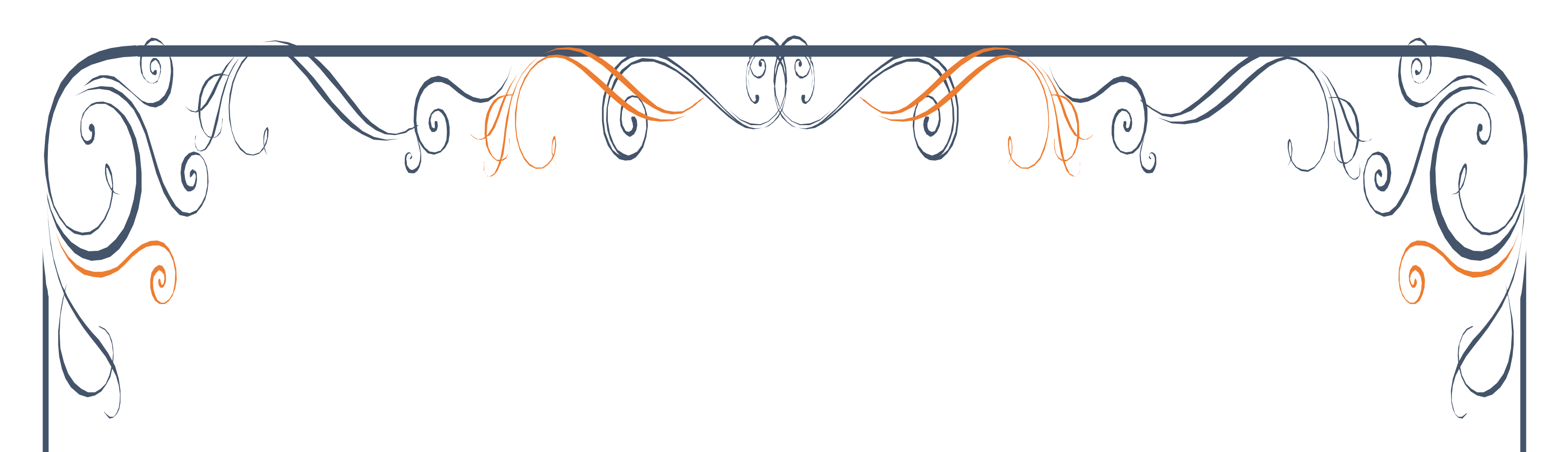
<u>أولاً : قوى القصور الذاتى للأجزاء الترددية الحركة هى مجموع قوى القصور الابتدائية والثانوية .</u>

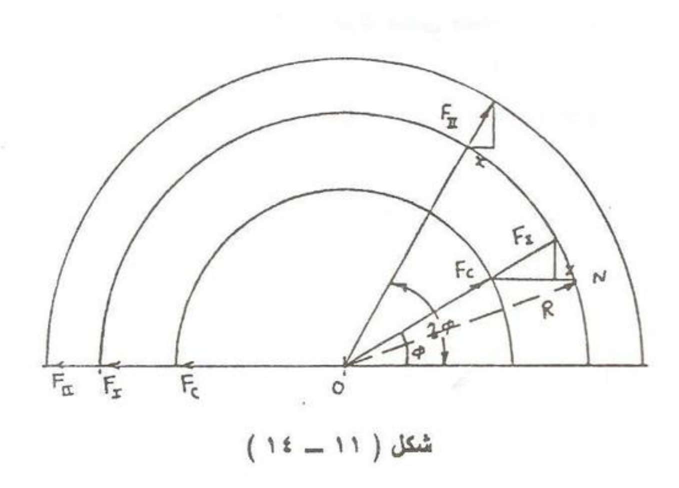
$$F_j = M_{rec} \cdot r\omega^2 \cos\varphi + M_{rec} \frac{r^2\omega^2}{L} \cos 2\varphi$$
$$= F_I + F_{II}$$

<u>ثانياً : قوى القصور الذاتى للأجزاء الدورانية الحركة هى :</u>

$$F_c = M_{rot} \cdot r\omega^2$$

وتعرف القوة الهازة Shaking force بمحصلة $F_j + F_c$ ويمكن الحصول على المحصله Resultant بيانياً كما يأتى بالشكل (١١ ــ ١٤) .





شكل (١١ ــ ١٤)

ويمثل المتجه ON المحصلة أو القوة الهازة .

ويمكن إضافة كتلة الموازنه M_b عند نصف القطر r مواجه للمرفق بحيث تساوى

$$M_b = M_{rot} + CM_{rec}$$

وقيمة C تزيد عن الصفر وقد تصل إلى ١ . وبتغيير φ ورسم المحل الهندسى للنقطة N لنسب مختلفه لــ C كما فى شكل (١١ ــ ١٥) نجد أن أنسب قيمة لــ C (هى التى تعطى أقل قيمة للمحصلة) عندما تساوى (٠,٥) وعلى ذلك فإن أنسب قيمة لكتلة الموازنه Balancing - weight هى........$N_b = M_{rot} + 0.5 M_{rec}$

C = 1   C = 1/2

شكل (١١ــ ١٥)

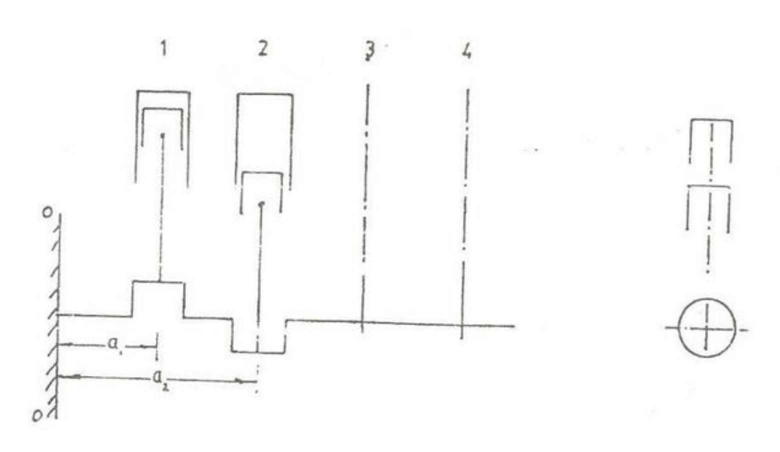
وهى توازن قوى قصور الأجزاء الدورانية الحركة كلية ، بينما توازن قوى قصور الأجزاء الترددية جزئياً .



١١ ـ ٧ موازنة قوى القصور لمحرك خطى متعدد الاسطوانات

Balancing of inertia forces of multi-cylinder engine

بالنظر للشكل (١١ ــ ١٦) يمكن الحصول على محصلة قوى القصور للأجزاء الترددية الحركة كما يأتى :



شكل (١١ ــ ١٦)

$$F_1 + M_{rec}.r\omega^2 \left[\cos(\varphi+\Theta_1) + \frac{r}{L}\cos 2(\varphi+\Theta_1)\right]$$

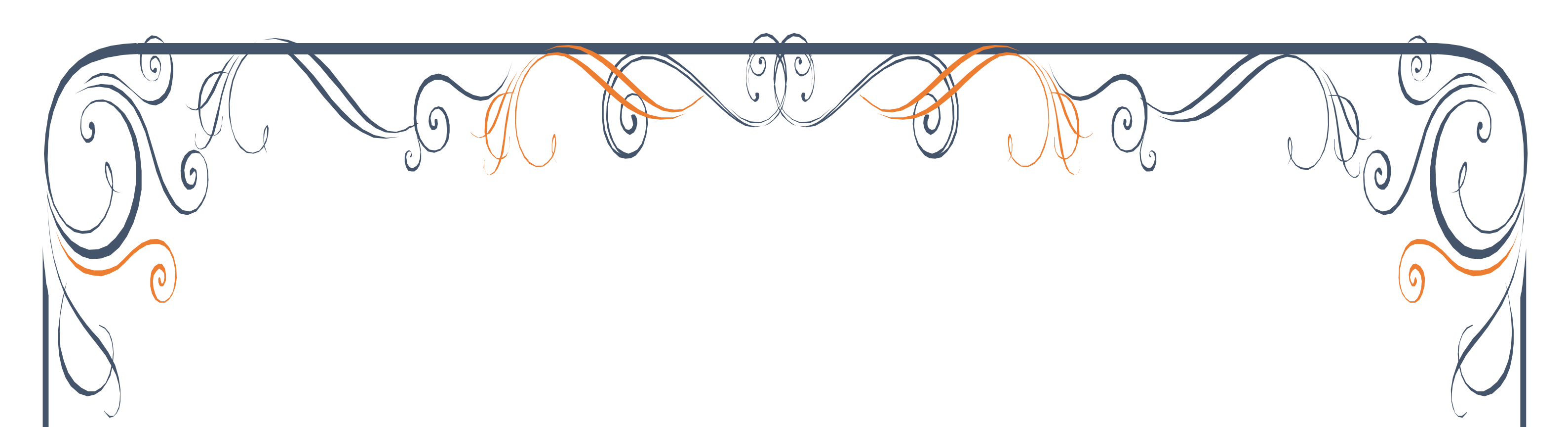
Putting $M_{rec}.r\omega^2 = K$

$$\therefore F_1 = K\left[\cos(\varphi+\Theta_1) + \frac{r}{L}\cos 2(\varphi+\Theta_1)\right]$$

$$F_2 = K\left[\cos(\varphi+\Theta_2) + \frac{r}{L}\cos 2(\varphi+\Theta_2)\right]$$

$$F_3 = K\left[\cos(\varphi+\Theta_3) + \frac{r}{L}\cos 2(\varphi+\Theta_3)\right]$$

....



Where : $\Theta_1 = 0,\ \Theta_2,\ \Theta_3,\ \Theta_3$ are constants for the engine.

Primary inertia forces :

$$F_{1_I} = K(\cos\varphi.\cos\Theta_1 - \sin\varphi.\sin\Theta_1)$$

$$F_{2_I} = K(\cos\varphi.\cos\Theta_2 - \sin\varphi.\sin\Theta_2)$$

.... وهكذا

∴ Resultant of primary forces :

$$F_I = K\left[\cos\varphi\sum_{i=1}^{n}\cos\Theta_i - \sin\varphi\sum_{i=1}^{n}\sin\Theta_i\right]$$

where : n = No of cylinders

Moments of primary forces about O-O :

$$M_I = K\left[\cos\varphi\sum_{i=1}^{n}a_i\cos\Theta_i - \sin\varphi\sum_{i=1}^{n}a_i\sin\Theta_i\right]$$

Secondary inertia forces :

$$F_{1_{II}} = K.\frac{r}{L}\left[\cos 2\varphi.\cos 2\Theta_1 - \sin 2\varphi.\sin 2\Theta_1\right]$$

$$F_{2_{II}} = K.\frac{r}{L}\left[\cos 2\varphi.\cos 2\Theta_2 - \sin 2\varphi.\sin 2\Theta_2\right]$$

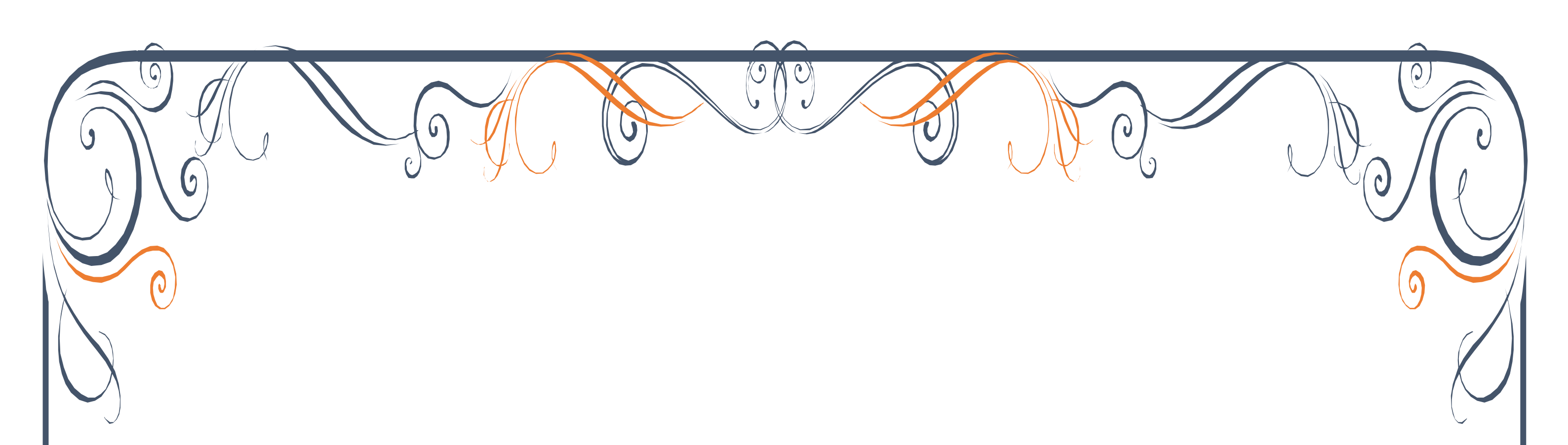
.... وهكذا

∴ Resulting of secondary forces :

$$F_{II} = K.\frac{r}{L}\left[\cos 2\varphi\sum_{i=1}^{n}\cos 2\Theta_i - \sin 2\varphi\sum_{i=1}^{n}\sin 2\Theta_i\right]$$

Moment of secondary forces about O-O

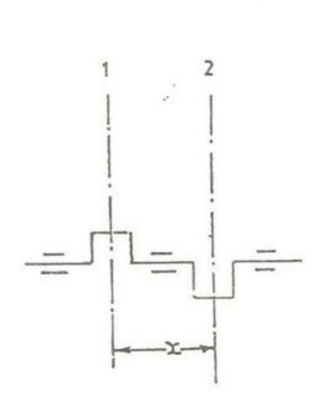
$$M_{II} = K.\frac{r}{L}\left[\cos 2\varphi\sum_{i=1}^{n}a_i\cos 2\Theta_i - \sin 2\varphi\sum_{i=1}^{n}a_i\sin 2\Theta_i\right]$$

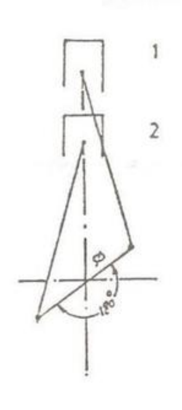


ولموازنة المحرك الخطى متعدد الاسطوانات تماما يجب أن يكون كلا من الآتى مساويا للصفر . أى أن :

$$F_I = 0 , M_I = 0 , F_{II} = 0 , M_{II} = 0$$

ولحسن الحظ فإنه بالتطبيق العملى نجد أن بعض هذه الشروط محققة فيبقى لنا موازنة القوى الباقية التى لا تساوى الصفر ، ويتم ذلك بواسطة وضع كتل موازنه واستخدام مجموعة التروس ، ولتوضيح ذلك ندرس المثال التالى بشكل (١١ ــ ١٧ أ) لمحرك مكون من اسطوانتين والزاوية بين المرفقين تساوى ١٨٠° .





شكل (١١ ــ ١٧ أ)

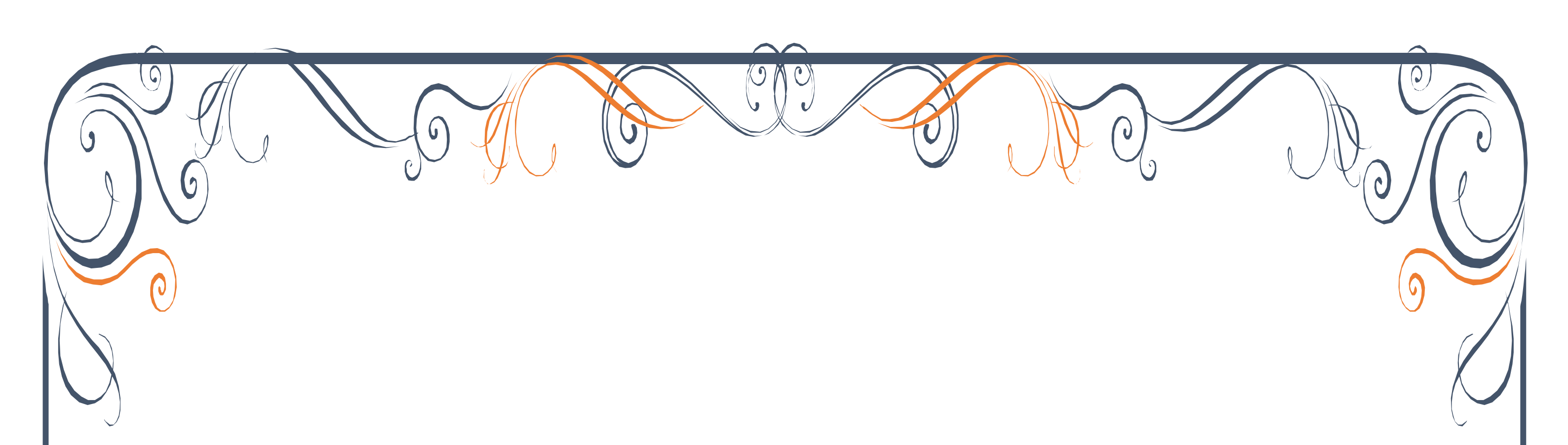
باستخدام نفس الخطوات السابقة يمكن أن نصل إلى أن : $F_I = o$

أى أن محصلة قوى القصور الابتدائية تساوى صفر (أى متزنه) ولكن ، M_I , M_{II} , F_{II} لها القيم التالية :

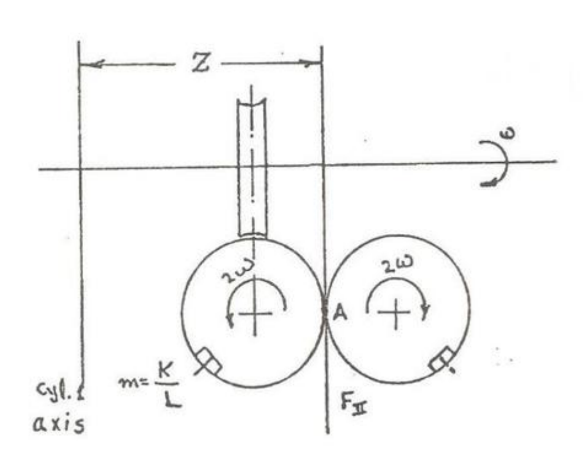
$$F_{II} = K\frac{I}{L}.2\cos2\varphi$$

$$M_I = -K.x\ \cos\varphi$$

$$M_{II} = K.\frac{I}{L}x\cos2\varphi$$



ولموازنة M_{II} , F_{II} نستخدم مجموعة التروس المبينة بالشكل (١١ ــ ١٧ ب) بشرط أن تكون النقطة A على مسافة Z من محور الاسطوانه (1) بحيث تكون المسافة Z مساوية لــ $\frac{x}{2} = \frac{M_{II}}{F_{II}}$ وبذلك يتبقى فقط العزم M_I غير متزناً .



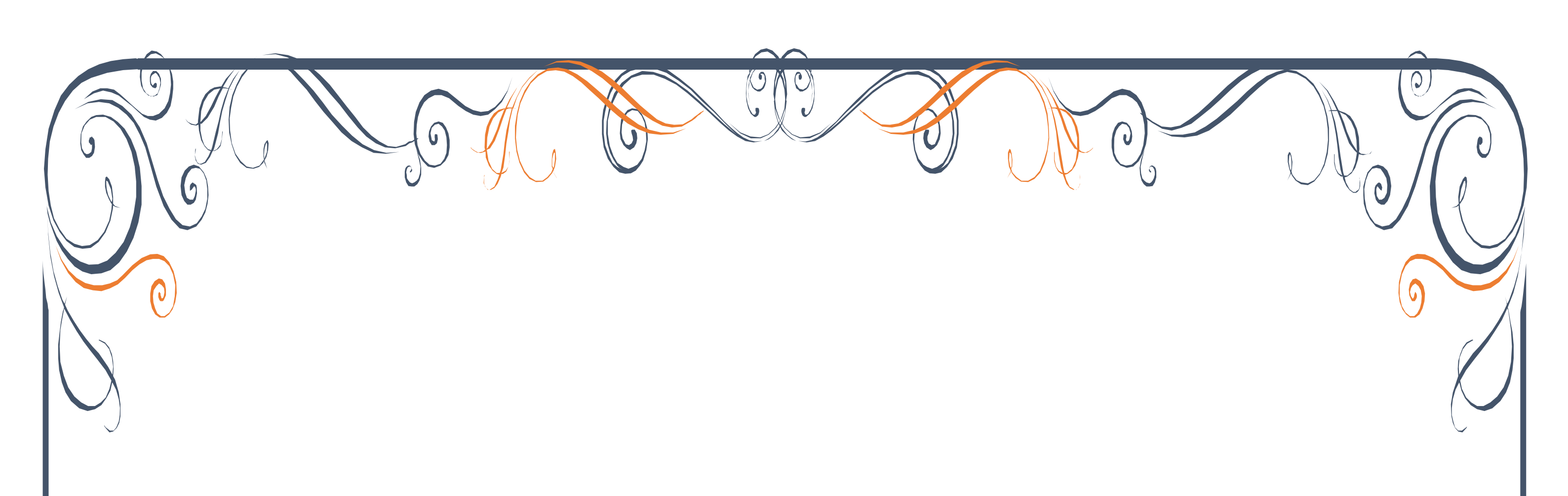
شكل (١١ ــ ١٧ ب)

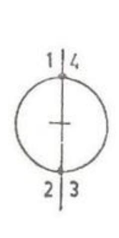
<u>١١ ــ ٧ ــ ١ : بعض النماذج للمحركات الخطية ونتائج تحصيل قوى القصور الترددية:</u>

باتباع نفس طريقة التحليل السابقة نجد أن :

<u>المحرك الرباعي الأشواط المكون من أربع اسطوانات :</u>

الزاوية بين الحريق والآخر ١٨٠° . شكل (١١ ــ ١٨ أ)





شكل (١١ ـ ١٨ ـ أ)

- قوى القصور الترددية الابتدائية وكذلك العزوم الابتدائية والثانوية متزنة أى أن

$$F_I = 0, \quad M_I = 0, \quad M_{II} = 0$$

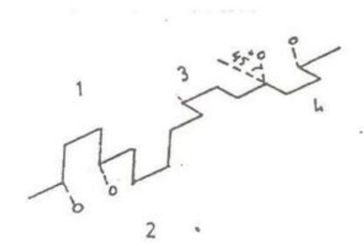
- أما قوى القصور الترددية الثانوية فهى غير متزنة وأقصى قيمة لها هى :

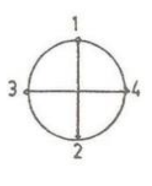
$$F_{II} = 4M_{rec}.\frac{r\omega^2}{n}$$

وهذه القوة الكبيرة الغير متزنة مشهورة فى هذه المحركات .

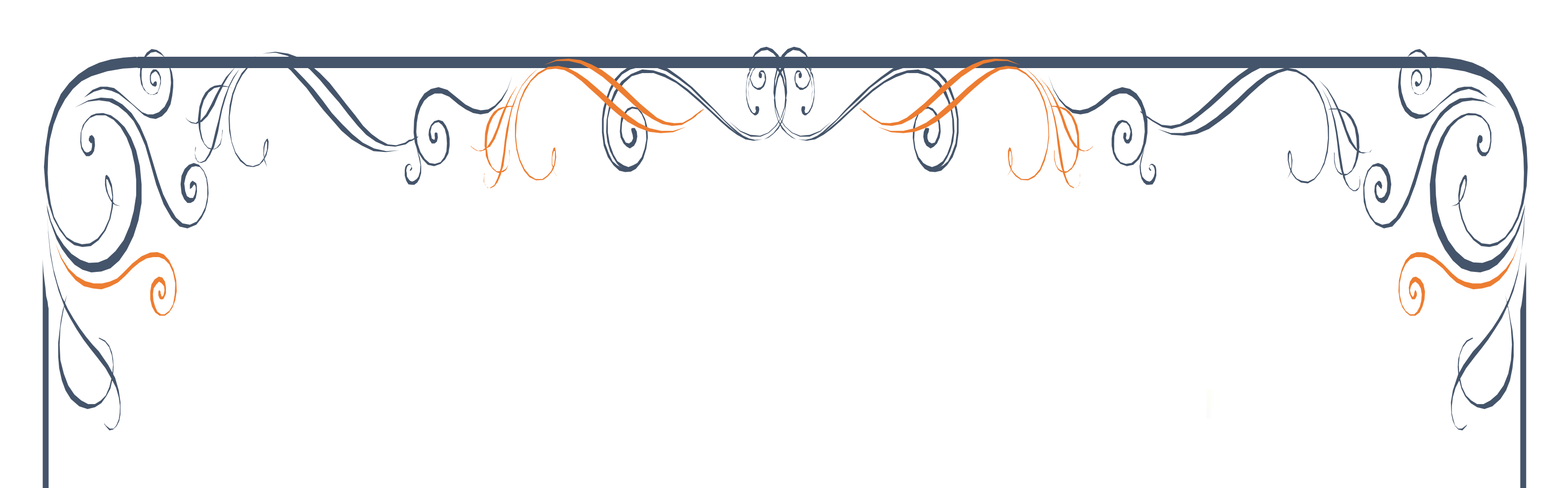
<u>المحرك الثنائى الأشواط المكون من أربعة اسطوانات :</u>

الزاوية بين الحريق والآخر ٩٠° شكل (١١ ـ ١٨ ب)





شكل (١١ - ١٨ - ب)



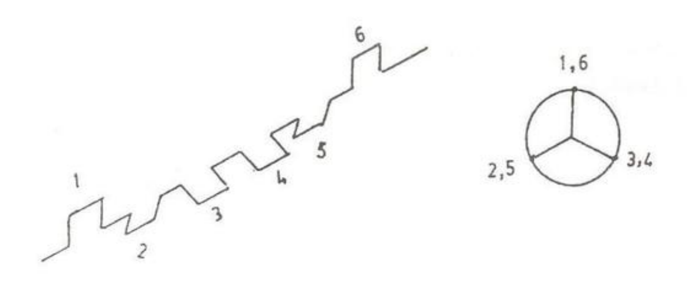
- قوى القصور الابتدائية والثانوية متزنة أى أنه :

$$F_I = 0 \ , \ F_{II} = 0$$

أما العزوم الابتدائية والثانوية فهى غير متزنة ولكن يمكن موازنتها بوضع كتل موازنه كما بالشكل .

<u>المحرك رباعى الأشواط المكون من ستة اسطوانات :</u>

الزاوية بين الحريق والآخر ١٢٠° شكل (١١ ـــ ١٨ جـ)



شكل (١١ ـــ ١٨ جـ)

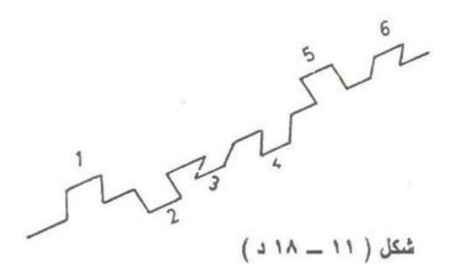
وفى هذا المحرك جميع قوى القصور والعزوم الابتدائية والثانوية متزنة أى أن

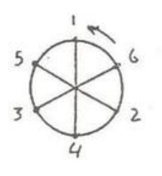
$$F_I = 0 \ , \ M_I = 0 \ , \ F_{II} = 0 \ , \ M_{II} = 0$$

وتعتبر هذه ميزة لهذا النوع من المحركات .

<u>المحرك ثنائى الأشواط المكون من ستة اسطوانات :</u>

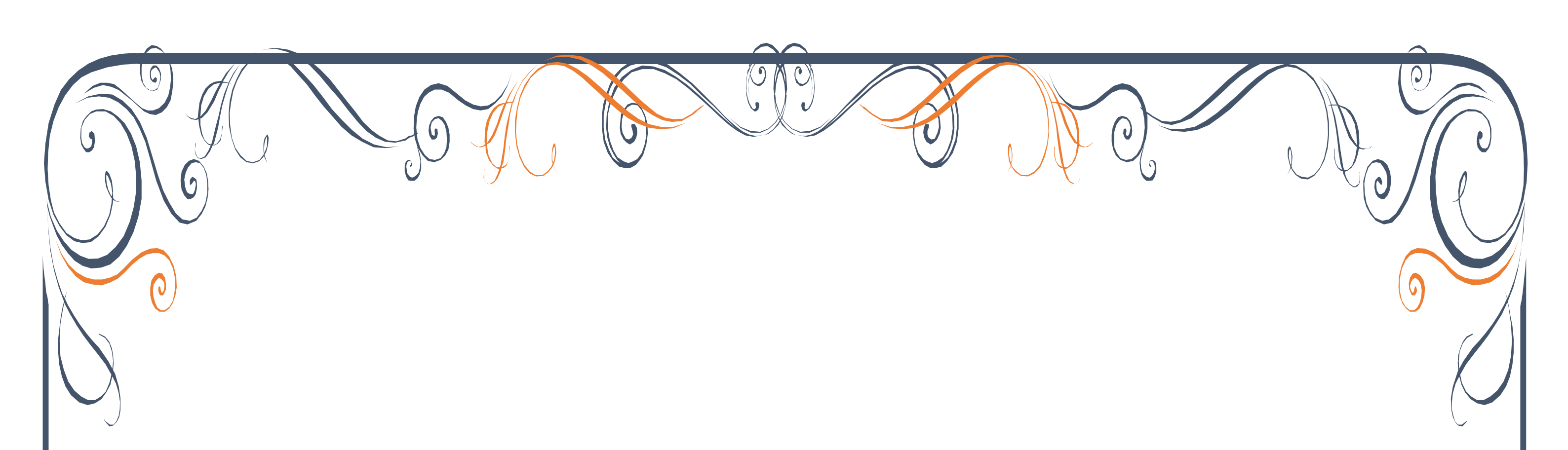
الزاوية بين الحريق والآخر ٦٠° شكل (١١ ـــ ١٨ د)





شكل (١١ ـــ ١٨ د)





فى هذا المحرك القوى والعزوم الابتدائية متزنة وأيضاً القوى الثانوية متزنة أى أن :

$$F_I = 0 \ , \ M_I = 0 \ , \ F_{II} = 0$$

أما العزوم الثانوية فهى غير متزنة .

المحرك رباعى الأشواط المكون من ثمانية اسطوانات :

الزاوية بين الحريق والآخر ٩٠° .

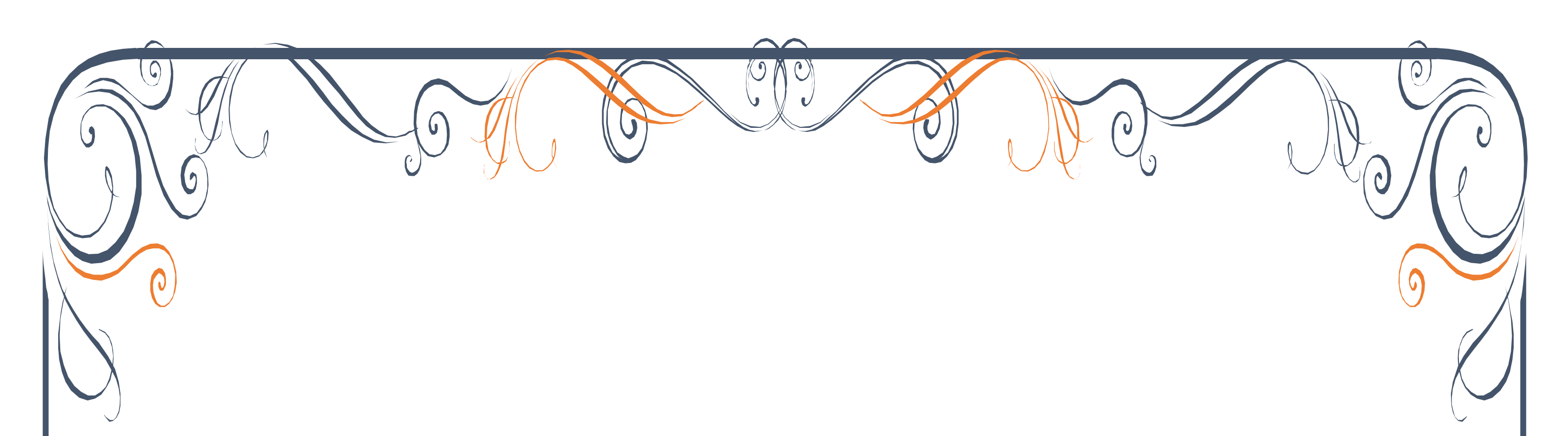
ولهذا النوع من المحركات نظم عديدة ويتضح أنه كلما زاد عدد الاسطوانات كلما زادت النظم الممكنة لعمود المرفق ، والاعتبار الذى يوضع فى الاختيار هو الحصول على عزم الدوران المنتظم والاتزان الكامل للقوى والعزوم وبعض هذه النظم موضحاً بالجدول شكل (١١ ــ ١٩) .

8 Cylinder Crank Arrangements
All Forces Balance

Crank Arrangement	Firing Order	Primary Couples	Secondary Couples
1,8 / 3,6 — 4,5 / 2,7	16258374 13258674	Nil	Nil
1,8 / 2,7 — 3,6 / 4,5	17438256 12468753	Nil	Nil
1,8 / 2,7 — 4,5 / 3,6	12358764 17348265	Nil	Nil
1,6 / 3,8 — 4,7 / 2,5	18276354	Nil	$\frac{8M_R r L\omega^2}{n}$
1,4 / 5,8 — 6,7 / 2,3	15264837 18264537	Nil	$\frac{16M_R r L\omega^2}{n}$

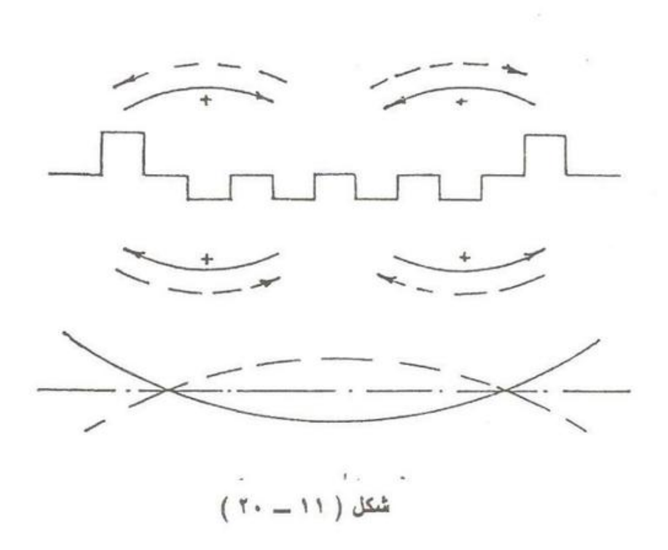
L = pitch of cylinder centres.

شكل (١١ ــ ١٩)



١١ ــ ٧ ــ ٢ : الازدواجية الداخلية Internal couples

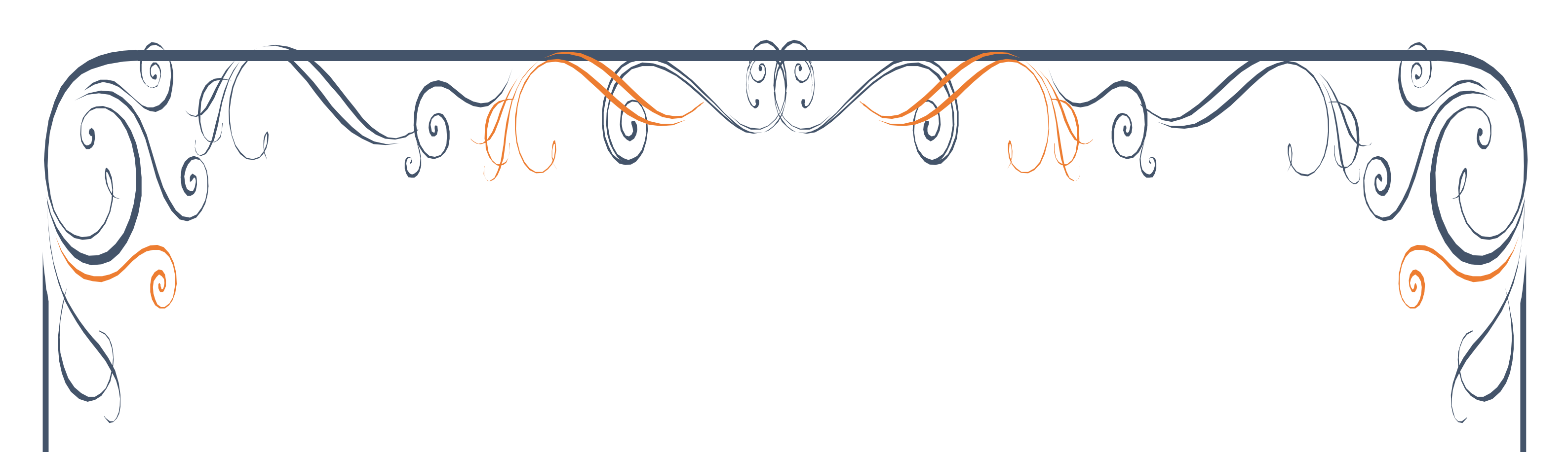
بالرجوع للشكل (١١ ــ ١٨ جـ) نجد أن عمود المرفق المتزن تماماً ، يمكن النظر إليه على أنه مكون من عمودين كل لثلاثة اسطوانات ، وكل عبارة عن مرآة للآخر . وكل عمود يعتبر متزناً من ناحية القوى ولكن غير متزن من ناحية العزوم الابتدائية والثانوية ، وهى بدورها تحاول أن تلف العمود كما فى الشكل (١١ ــ ٢٠) وتقيد هذه الحركة بالمحامل وخاصة المحمل الأوسط ولكن يجب أن يراعى أن هذه الإزدواجات تضيف أحمال ديناميكية على المحمل .



شكل (١١ ــ ٢٠)

ملحوظـــــــة :

يمكن موازنة قوى القصور للأجزاء الدورانية الحركة تماماً باستخدام كتل موازنه Balancing weight توضع على امتداد المرفق وعلى بعد معين من محور عمود المرفق بحيث يكون $m_b \, r_b$ مقدار ثابت .



(١١ - ٨) عرض عن مبادئ الاهتزاز الميكانيكي

Review of the principals of mechanical vibration

يعرض هذا الجزء الحركة الديناميكية لأجزاء المحرك وما تتعرض له من اهتزازات ولكى يتمكن القارئ من متابعة الدراسة ينبغى أن يلم ببعض المبادئ الأساسية والتعاريف الخاصة بالحركة الاهتزازية والتى سنوجزها فيما يلى :

ـ الحركة الاهتزازية :

هى حركة جسم حركة دورية متكررة حول وضع اتزانه . وكحالة خاصة لهذه الحركة ، الحركة التوافقية البسيطة .

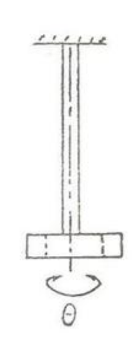
الحركة التوافقية البسيطة . Simple harmonic motion

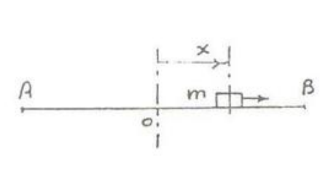
وفيها تكون عجلة الجسم متناسبة دائماً مع إزاحة الجسم Displacement وتكون عجلة الجسم متجهة نحو وضع الاتزان دائماً .

وقد تكون حركة الجسم حركة انتقالية وفيها تكون الازاحة هى بعده عن وضع الاتزان .

وقد تكون حركة الجسم حركة دورانيه وفيها تكون الإزاحة هى الزاوية بين محور الجسم ومحور الاتزان .

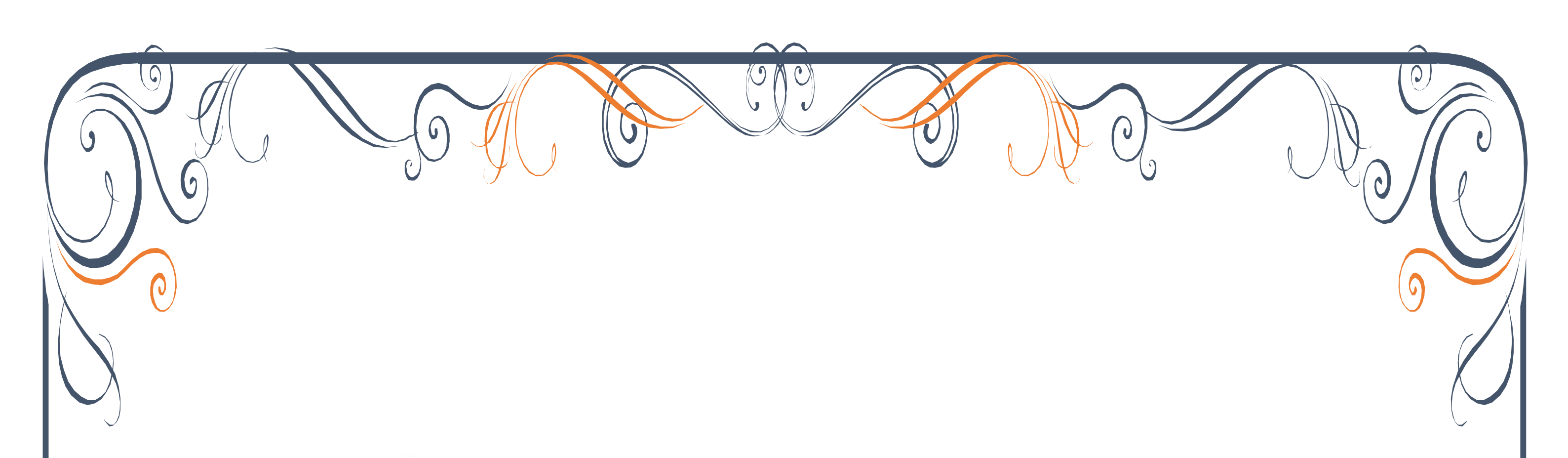
ويوضح شكل (١١ ــ ٢١) نوعى الحركة .





شكل (١١ ــ ٢١)





فإذا تحرك الجسم (m) بين الوضعين A,B حركة توافقية بسيطة فإن العجلة تكـون أقصى قيمة لها عند A,B وتكون منعدمة عند 0 بينما تكون أقصى قيمة للسرعة عنـد 0 وتكون منعدمة عند A,B .

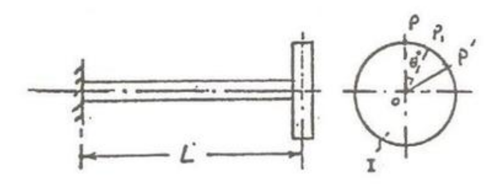
والزمن اللازم لحركة الجسم من A إلى B ثم عودته إلى A يسمى الزمن الـدورى T ومقلوب الزمن الدورى هو التردد f ويعرف التردد frequency بعدد الدورات الكاملة التى يكملها الجسـم فى وحدة الزمن ووحداته .cycle/sec .

والتعريف الرياضـى للزمن الدورى T هو $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{\text{displacement}}{\text{acceleration}}}$

ومن خواص الحركة التوافقية البسيطة : أن مجموع طاقتى الوضع والحركة ثابت أثناء الحركة . فعندما تقل طاقة الوضع تزيد طاقة الحركة والعكس بالعكس . وطاقة الوضع تكون منعدمة عند 0 وطاقة الحركة تكون منعدمة عن A,B .

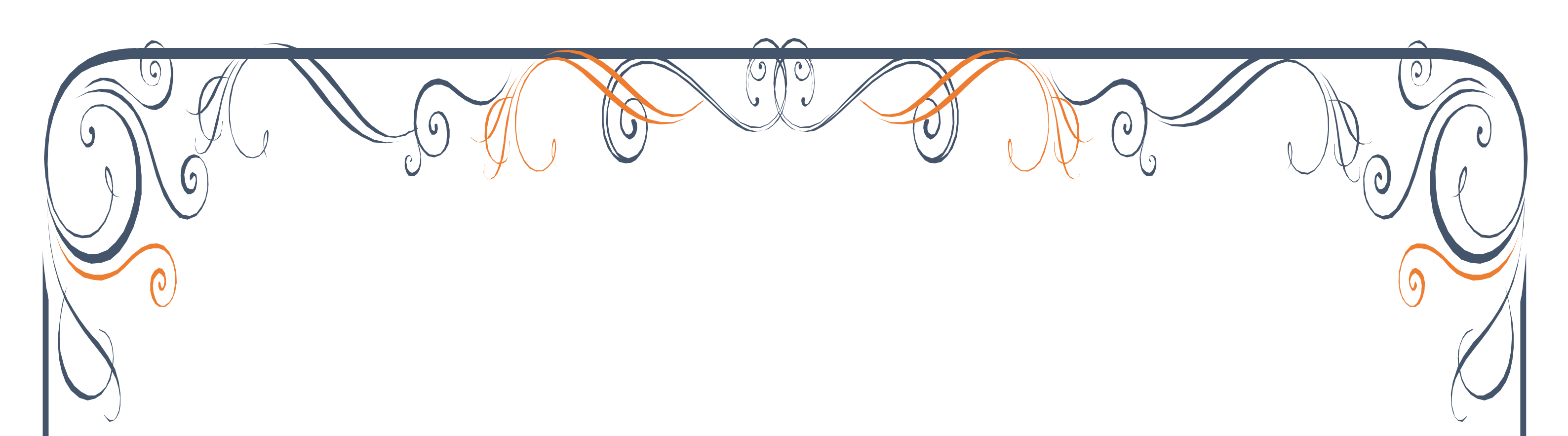
ومن الأمثلة الهامة للحركة التوافقية البسيطة المثال التالى :

إذا فرضنا عمود خفيف مرن كالمبين بالشكل (١١ ــ ٢٢) مثبت فى إحدى نهايتيـه وفى النهاية الأخرى قرص عزم قصوره حول المركز o يساوى I .



شكل (١١ ــ ٢٢)

وإذا فرضنا أن القرص أدير حول مركزه 0 بحيث جاءت النقطة P عند P` ثم ترك فإن القرص يتذبذب حول وضعه الذى كان عليه قبل أن نديره وهى " نبذبة حرة " كما سـنرى فيما بعد .



ولإيجاد معادلة حركة القرص فإننا نفرض الوضع العام الذى فيه النقطة P تكون عند P_1 وتكون زاوية دوران القرص عن وضع الاتزان Θ مثلا .

L طول العمود ، T عزم اللى المؤثر ، Θ الانحراف ، I عزم القصور حول المركز 0 ، G معامل الصلادة لمادة العمود Modulus of rigidity ، J عزم المساحة القطبى الثانى لمقطع العمود ويساوى $\frac{\pi D^4}{32}$.

من دراسة لى الأعمدة الدائرية Torsion of circular shafts فإن عزم اللى T

$$T = \frac{J.G}{L}.\Theta = K.\Theta \qquad (1)$$

حيث $\frac{J.G}{L} = K$ وهى عزم اللى اللازم لعمل التواء قدره درجة واحدة نصف قطرية وتكون معادلة حركة القرص :

$$T = -I\ddot{\Theta} \quad \text{------------------------} \quad (2)$$

بمساواة المعادلة (1) , (2) نجد أن :

$$I\ddot{\Theta} = -K\,\Theta$$

$$\therefore I\ddot{\Theta} + K\Theta = 0 \quad \text{--------------------} \quad (3)$$

$$\ddot{\Theta} = \frac{K}{L}\Theta$$

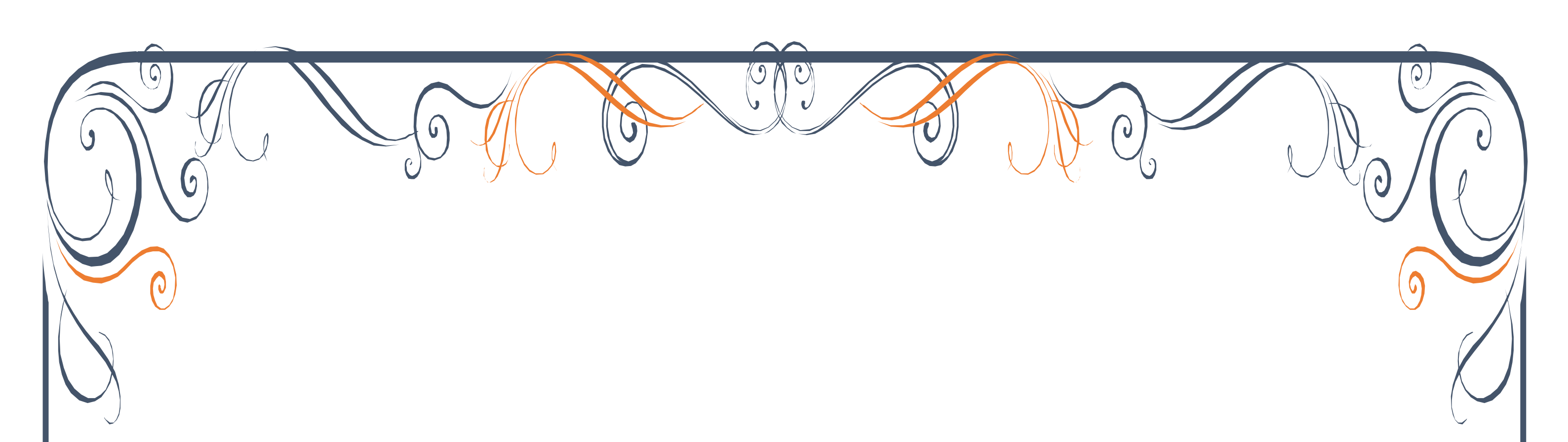
∴ العجلة الزاوية $\ddot{\Theta}$ تتناسب مع الانحراف الزاوى Θ مما يدل على أن حركة القرص هى حركة توافقية بسيطة . ومن تعريف الزمن الدورى:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{\text{displacement}}{\text{acceleratioin}}} = 2\pi\sqrt{\frac{\Theta}{\ddot{\Theta}}} = 2\pi\sqrt{\frac{I}{K}}$$

أو الزمن الدورى = ٢ ط $\sqrt{\frac{\text{الانحراف الزاوى}}{\text{العجلة الزاوية}}}$

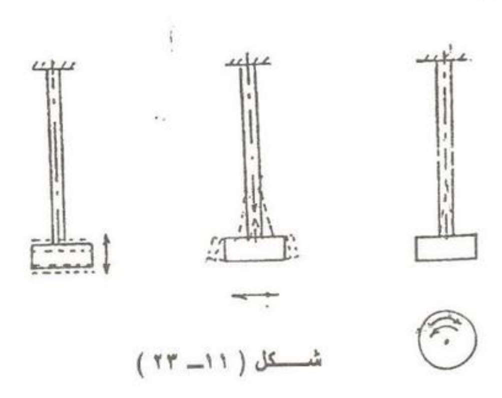
والتردد f فى هذه الحالة يساوى :

$$f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{\text{acceleration}}{\text{displacement}}}$$



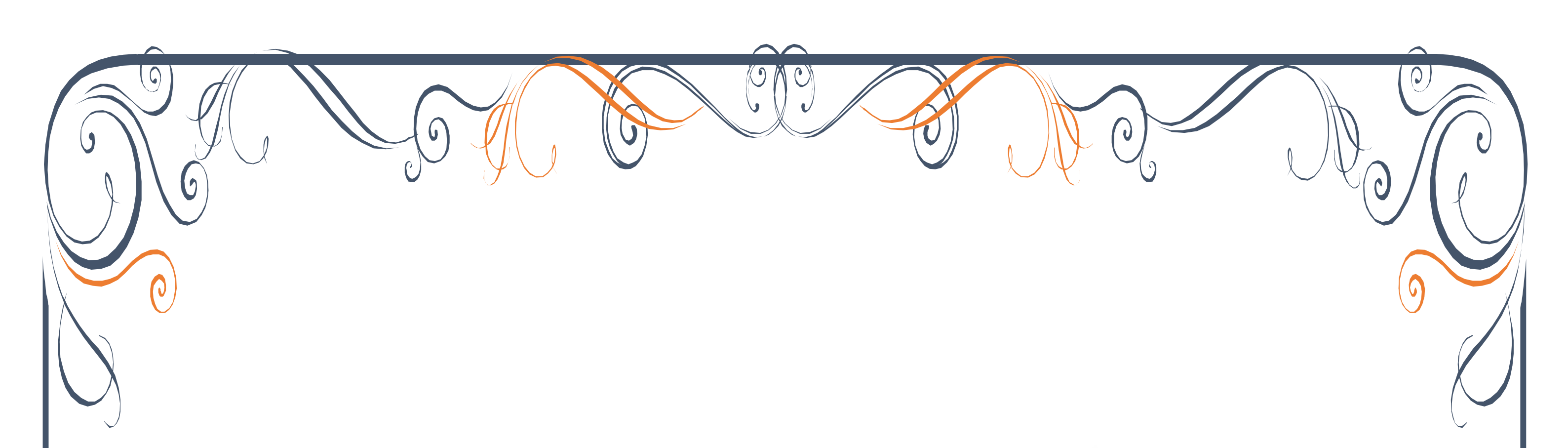
$$\therefore \quad f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{K}{I}} = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{JG}{LI}}$$

ويسمى بالتردد الطبيعى للمنظومة وقد أضيفت n وأصبح يرمز له بالرمز f_n .
وبذلك نرى أن التردد الطبيعى f_n لمنظومة بسيطة مكونة من عمود خفيف مرن وقرص ينقص عزم القصور الذاتى للقرص ويزيد بزيادة معامل الصلادة لمادة العمود .
وبحل المعادلة التفاضلية (3) ينتج الآتى : $\Theta = A\cos\omega_n t + B\sin\omega_n t$
حيث : $\omega_n = 2\pi f_n$ ، t الزمن ، (A & B) ثوابت توجد من أحوال البدايه (وقد تكون قيمة A أو B مساوية صفر) .
وقد تتعرض المنظومة السابقة المكونة من قرص وعمود مرن للاهتزاز بطريقتين أخريتين غير الذبذبه الالتوائية السابقة هما :
الاهتزاز الطولى ، الاهتزاز العرضى (اهتزاز الانحناء) كما هو مبين بالشكل (١١ـ ٢٣) .



شكل (١١ـ ٢٣)

فى الاهتزاز الطولى يتحرك القرص فى اتجاه محور العمود ويتعرض العمود لتمدد والانضغاط بالتناوب ، وفى الاهتزاز العرضى يتحرك القرص فى اتجاه عمودى على اتجاه محور العمود ويتعرض العمود للانحناء فى الاتجاهين بالتناوب .



١١ ـ ٨ ـ ١ : الذبذبة الطبيعية والذبذبة القسرية :

Natural vibration & forced vibration

إذا تغير وضع مجموعة مرنه (مثل العمود المرن والقرص كما فى المثال السابق) من وضع الاتزان ، فإنها تهتز . وإذا لم يوجد أى قوى خارجية تؤثر على المجموعة أثناء الاهتزاز فإن هذا الاهتزاز يسمى اهتزاز طبيعى (حر) .

وفيه تتم الحركة بتأثير القوى الداخلية فى المجموعة فقط وتتغير الطاقة من صورة إلى أخرى دون أن يضاف إليها أى طاقة من الخارج ويكون التردد فى هذه الحالة هو التردد الطبيعى Natural vibration .

أما فى حالة وجود قوى خارجية متكررة تؤثر على المجموعة المرنة أثناء الاهتزاز فإن المجموعة المرنة بعد مرور فترة صغيرة من بدء الاهتزاز تهتز بنفس تردد هذه القوى ويسمى الاهتزاز فى هذه الحالة بالاهتزاز القسرى Forced vibration وفيه تضيف القوى الخارجية طاقة إلى المجموعة التى تعوض الطاقة المفقودة فى المقاومات وبذلك يستمر الاهتزاز باستمرار وجود القوى الخارجية المسببة له .

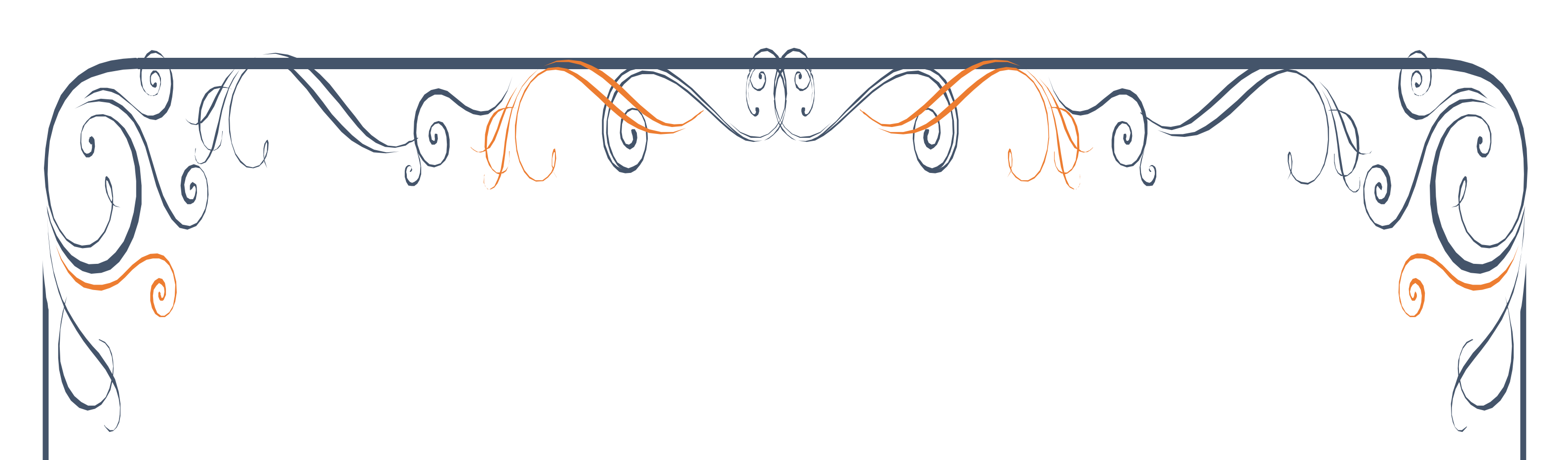
ويجدر ملاحظة أن اهتزاز المحرك الديزل هو اهتزاز قسرى تمثل فيه قوى ضغط غازات الاحتراق داخل الاسطوانه القوى الخارجية .

١١ ـ ٨ ـ ٢ : الذبذبة المخمودة Damped vibration

يتعرض أى جسم أثناء حركته لمقاومات داخلية وخارجية لهذه الحركة ، وهذه المقاومات تبذل شغل ضد حركة الجسم مما يحول جزء من طاقة الجسم (طاقة وضع أو طاقة حركة) إلى طاقة حرارية تفقد . فإذا كانت ذبذبة الجسم ذبذبة طبيعية فإنها تضعف بالتدريج نتيجة لنقص طاقة الجسم إلى أن تتلاشى ويصل الجسم إلى حالة الاتزان الأصلية .

١١ ـ ٨ ـ ٣ : الرنين Resonance

لكل مجموعه مرنه تردد (أو عدد من الترددات فى حالة وجود أكثر من درجة واحدة لحرية الحركة كما سيلى ذكره) يسمى بالتردد الطبيعى Natural frequency ومقداره يعتمد على خصائص المجموعه ، وهو لذلك ثابت للمجموعة الواحدة .



ولقد أوجدنا فى المثال السابق ذكره التردد الطبيعى لمجموعة مكونة من عمود خفيف مرن مثبت فى نهاية قرص ووجدنا أنه يساوى $f_n = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{JG}{LI}}$ فى حالة الذبذبات الالتوائية .

فإذا فرضنا أن المنظومة السابقة تعرضت لعزم لى خارجى (T) متكرر (أى يتغير من اتجـــــاه إلى صفر إى الاتجاه الآخر وهكذا ....) ويساوى $T = A \cos \omega t$ وتردده يساوى $f = \frac{\omega}{2\pi}$ cycle /sec. فإنها تتذبذب ذبذبة قسرية بنفس التردد f .

فإذا حدث أن كان تردد العزم الخارجــــى f يســـاوى التردد الطبيعى f_n للمنظومة أى $f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{JG}{LI}}$ سميت الحالة حالة رنين Resonance وبذلك يمكن تعريف حالة الرنين عامة بأنها الحالة التى تحدث عندما يوافق تردد القوة الخارجية أحد الترددات الطبيعية للمجموعة المرنة .

وحالة الرنين ظاهرة عامة تحدث فى الكهرباء والمغناطيسية والهيدروليكا .... كما تحدث فى المنظومات الميكانيكية .

وفى حالة المنظومات الميكانيكية تسبب حالة الرنين زيادة كبيرة فى مقدار الذبذبة تنمو مع الزمن مما يؤدى إلى الكسر فى فترة زمنية قصيرة .

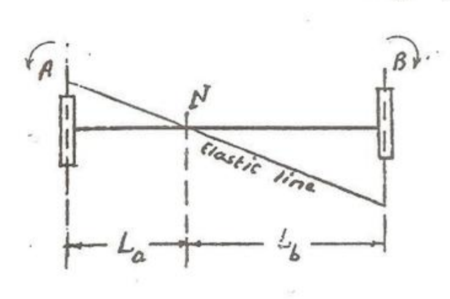
١١ ــ ٨ ــ ٤ : عدد درجات حرية الحركة : Number of degrees of freedom

عدد درجات حرية الحركة هو عدد المتغيرات المستقلة فى المجموعة المرنة . فمثلاً :

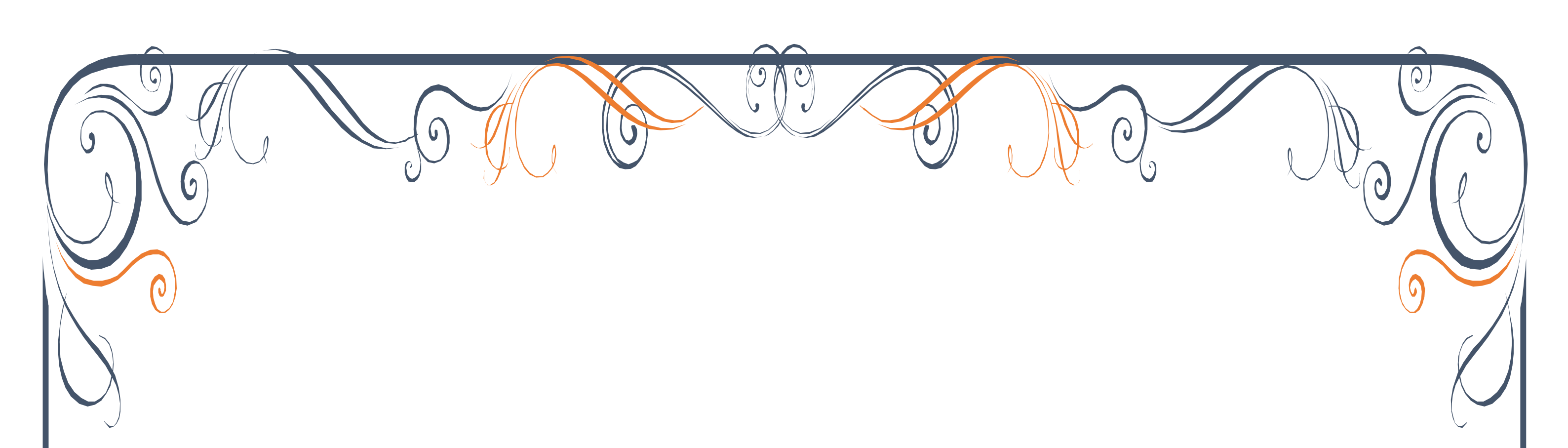
ــ المنظومة ذات الدوار الواحد : (شكل ١١ ــ ٢٢) لا يوجد غير المتغير Θ وهو زاوية دوران القرص عن وضع الاتزان ولذلك فلهذه المنظومه درجة حرية حركة واحدة وينتج منه تردد طبيعى واحد . . وفى الحقيقة فإن عدد الترددات الطبيعية لأى مجموعة يساوى عدد درجات حرية الحركة لها .

ــ المنظومة المكونة من دوارين :

شكل (١١ ــ ٢٤) بادارة القرصين A & B فى اتجاهين مختلفين ثم تركهما ، نجد أن المجموعة تهتز حيث يصل الدوار A إلى الذروة فى اتجاه معين ، بينما يصـــــل الدوارB إلى



شكل(١١ ـ ٢٤)



الذروة فى الاتجاه الآخر فى نفس اللحظة ، وتوجد نقطة على العمود عندها لا يتأثر المقطع بالذبذبة وتسمى هذه النقطة بالعقدة Node-N . وكل نقطة على العمود فى الاتجاهين يتذبذب بنفس التردد ولكن فى الاتجاه المعاكس ، وعليه فيمكن اعتبار الجزء الواقع على يمين العقدة أو يسارها هو مجموعة بسيطة مستقلة ويمكن كتابة معادلة التردد لكل من تمييزها بالحروف A & B .

$$f_n = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{K_a}{I_a}} = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{K_b}{I_b}}$$

$$= \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{JG}{L_a I_a}} = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{JG}{L_b I_b}}$$

$$\therefore L_a I_a = L_b I_b \quad \text{or} \quad \frac{L_a}{L_b} \quad \frac{I_b}{I_a}$$

ومن ذلك يتضح أن العقدة تقسم طول العمود بنسبة عكسية مساوية لنسبة عزوم القصور للدوارين .

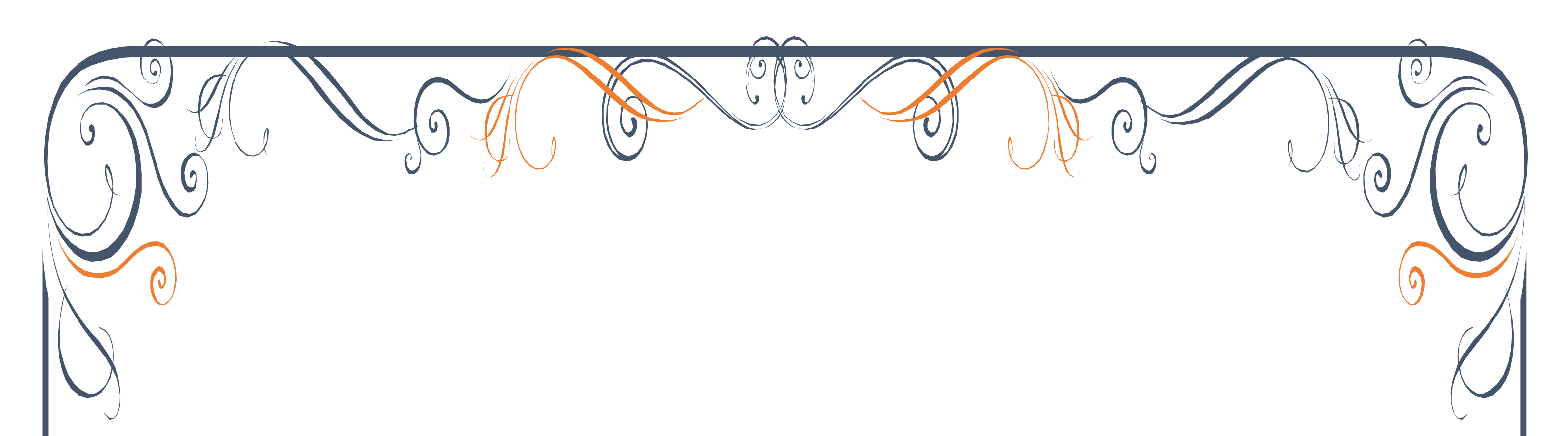
ويتضـــح أن الخط المرن يمر بالنقطة (N) وحيث أن العمود يقع تحت تأثير اجهاد لى منتظم ، فإن هذا الخـــط يمثل اللى أو انفعـــال اللى والقيمA,B تمثل ســـعة الذبذبـــة عندها Amplitude .

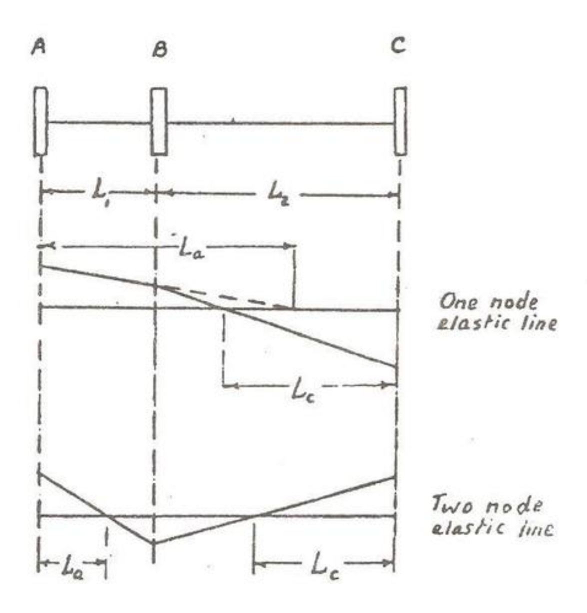
<u>المنظومة المكونة من ثلاثة دوار (شكل ١١ ـ ٢٥)</u>

وهذه المنظومة يمكن أن تهتز بطريقتين :

أ) القرصين A,B يمكن أن يهتزا فى اتجاه واحد ، بينما القرص C يهتز فى اتجاه معاكس وتحدث ذبذبة عقدة واحدة .

ب) القرصين A,C يمكن أن يهتزا فى اتجاه واحد ، بينما القرص B يهتز فى اتجاه معاكس ، وتحدث ذبذبة ذات عقدتين .





شكل (١١ – ٢٥)

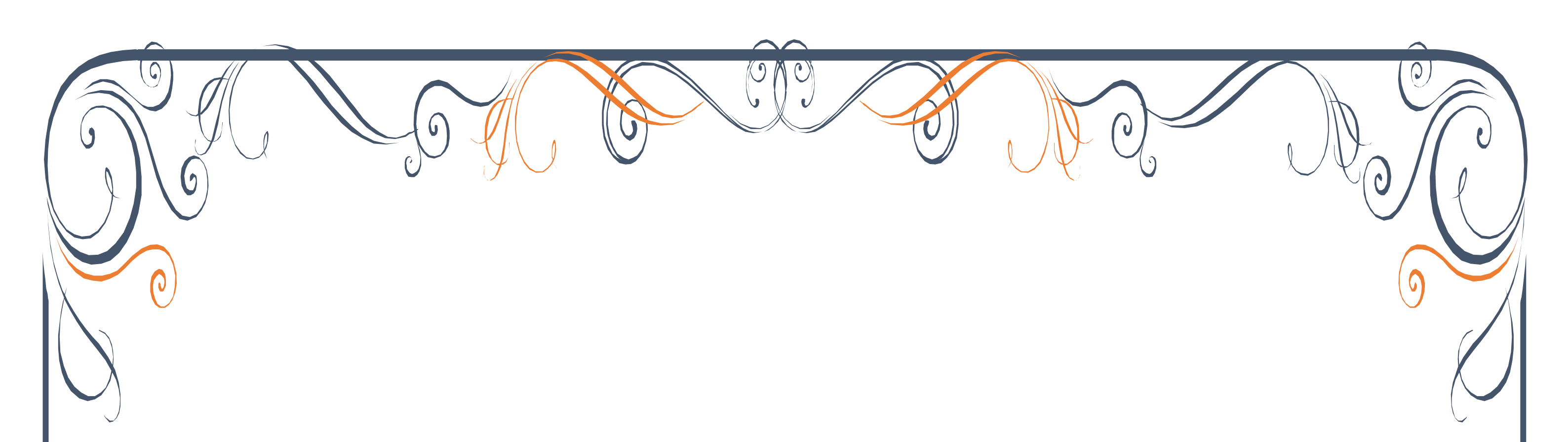
المنظومة المكونة من عدة أدوار :

وسنكتفى بدراستها فى المثال القادم فى الفصل (١١ ـ ٩) لمجموعة مكافئة لمحرك ديزل .

١١ ـ ٩ اهتزازات اللى فى عمود المرفق والرفاص

Torsional vibration of crankshaft

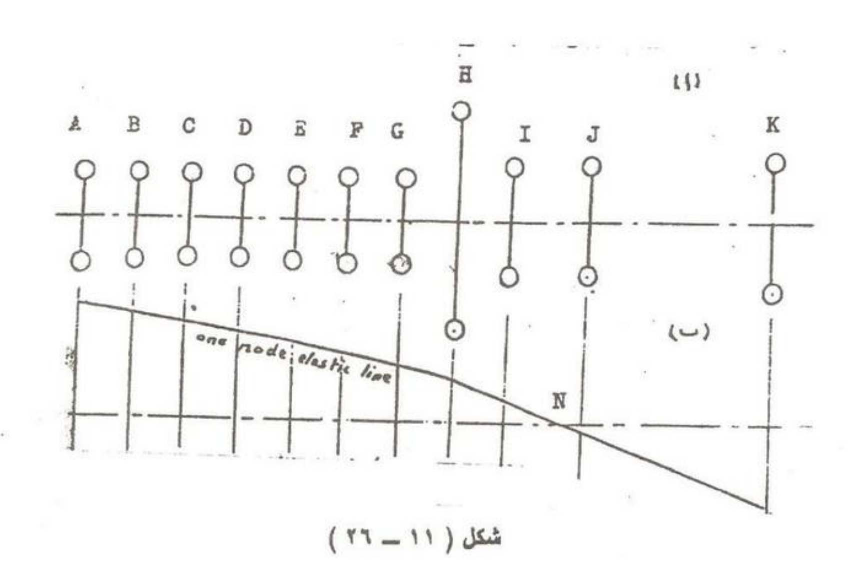
لدراسة الاهتزازات فى محركات الديزل يتم دراسة مجموعة من الدوارات تكافئ لمحرك عن طريق تمثيل كل من الرفاص أو المولد الكهربائى والحدافه وكل اسطوانه بدوار مكافئ . ويكون عزم قصور الدوار الممثل للرفاص مساوياً لعزم قصور الرفاص مضافاً إليه تأثير المياه المحصورة بين الريش ، وعزم القصور الممثل للاسطوانة مساوياً لعزم قصور الأجزاء الدوارة مضافاً إليه مقدار يكافئ عزم قصور الأجزاء الترددية ، وكذلك يمثل العمود بين كل دوارين بطول معين من عمود مكافئ .



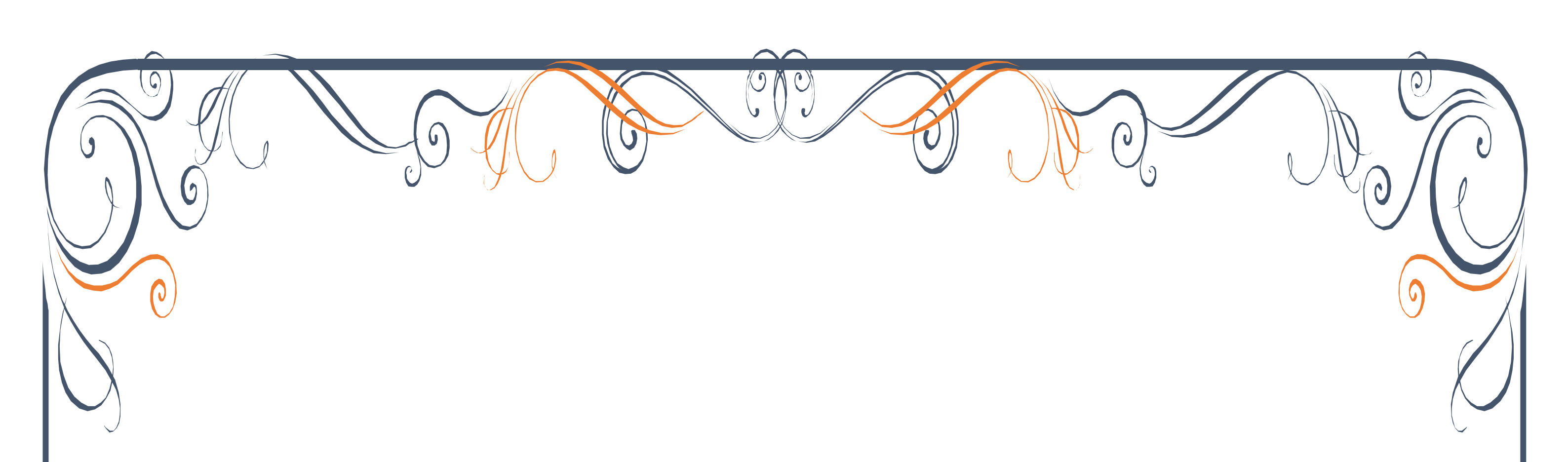
وتحديد الدوار المكافئ لكل وحدة والأطوال المكافئة بين كل دوارين تعتبر دراسة عميقة تخصصية .

ولقد لاحظنا أن المجموعة المكونة من دوارين يمكن أن تهتز بعقدة واحدة بين الدوارين وأن المجموعة المكونة من ثلاث دوار يمكن أن تهتز بطريقتين أحداها ذات عقدة واحدة والأخرى ذات عقدتين . وعامة فإن المجموعة التى تتكون من عدد كبير من الأقراص الدوارة يمكن أن تهتز بعدة طرق ولكل طريقة من طرق الاهتزاز تردد طبيعى مما ينتج عنه عدد من الترددات الطبيعية ينقص عن عدد الأقراص الدوارة بمقدار واحد ـ ولحسن الحظ فإن الاهتزازات ذات العقد الكثيرة ليست على درجة كبيرة من الأهمية من الناحية العملية ولذلك دائماً يكتفى بدراسة الاهتزازات ذات العقد الواحدة أو العقدتين .

والشكل (١١ ــ ٢٦ أ) يوضح مجموعة مكافئة لمحرك ديزل مكون من خامد الذبذبة A وستة اسطوانات B-C-D-E-F-G وحداقة H ووصلة I ومجموعة تروس J ورفاص K ، وتهتز هذه المنظومة بعدة طرق يقابل كل طريقة تردد طبيعى معين ω_n .



شكل (١١ ــ ٢٦)



من المعروف كما فى الأمثلة السابقة ، أن الدورات فى تذبذبها تصل إلى أقصى زاوية دوران لها معاً ، وتمر بوضع الاتزان معاً أيضاً . أى أنه عندما يكون الدوار الأول فى أقصى وضع له ، يكون الدوار الثانى أيضاً فى أقصى وضع له وكذلك الدوار الثالث والرابع ... فى أقصى وضع .

يمثل الشكل (١١ ــ ٢٦ ب) حركة الدوار الأول وفيها (Θ) تسمى سعة الذبذبة لهذا الدوار ــ وهى تختلف من الدوار الأول إلى الثانى إلى ..... وسندرس فيما يلى اتزان المجموعة عندما تكون الدوارات فى أقصى وضع لها .

عند تلك اللحظة تكون زاوية الدوار الأول Θ_1 والثانى Θ_2 والثالث Θ_3..... وهكذا

ويكون عزم اللى فى العمود بين A,B ، ..... فى أقصى قيمة له ويساوى T_1 وكذلك T_2 ، ....

من المعروف فى الحركة التوافقية البسيطة أن :

$$\Theta = \Theta \sin \omega t$$

$$\dot{\Theta} = -\Theta\omega \cos\omega t$$

$$\ddot{\Theta} = \Theta \omega^2 \sin \omega t$$

أى أن أقصى قيمة للعجلة تساوى أقصى قيمة لزاوية الدوران أو (سعة الذبذبة) مضروبة فى مربع التردد (بوحدات زاوية نصف قطرية / ثانية).

وعزم اللى فى العمود الأول عند أقصى وضع يساوى :

$$T1 = K_1 (\Theta_1 - \Theta_2) \qquad (1)$$

وبمساواة هذا العزم المؤثر على الدوار الأول بحاصل ضرب عزم قصوره الذاتى فى عجلته الزاويه عند أقصى وضع أى أن :

$$T_1 = -I_1 . \ddot{\Theta}_1 \qquad (2)$$

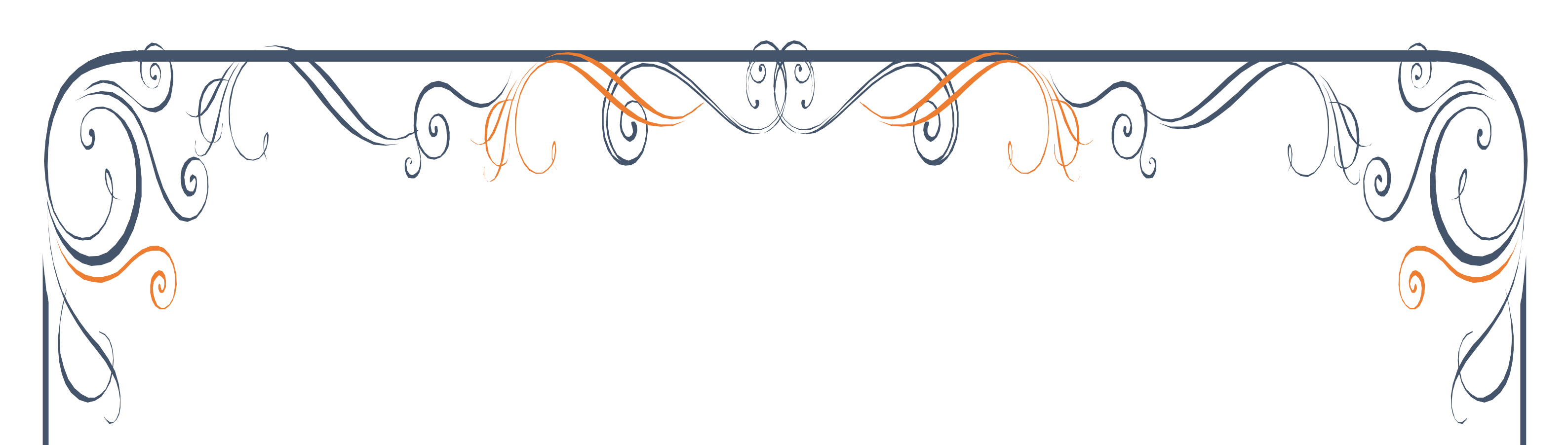
$$\therefore K_1(\Theta_1 - \Theta_2) = -I_1 . \ddot{\Theta}_1$$

$$\text{or} \quad K_1(\Theta_1 \sin \omega t - \Theta_2 \sin \omega t) = I_1 . \Theta_1 \omega^2 \sin\omega t$$

بالقسمة على $\sin \omega t$ نجد أن :

$$K_1(\Theta_1 - \Theta_2) = I_1 . \omega^2 . \ddot{\Theta}_1$$

$$\text{or} \quad \Theta_2 = \Theta_1 + \frac{I_1 \omega^2 . \Theta_1}{K_1}$$



وبذلك نكون قد أوجدنا Θ_2 إذا عرفنا Θ_1 .

وبتكرار هذه العملية على العمود الثانى يمكن إيجاد أن :

$$\Theta_3 = \Theta_2 + \frac{I_1 \omega_n^2 \Theta_1 + I_2 \omega_n^2 \Theta_2}{K_2}$$

وهكذا بالنسبة لـــ Θ_4 ......

ويمكن فهم المعادلة 4 الأخيرة كالآتى :

عزم اللى فى العمود الثانى (T_2) يساوى مجموع عزوم قوى القصور للدوارات التى على يمينه $(I_1 \omega_n^2 \Theta_1 + I_2 \omega_n^2 \Theta_2)$ وبقسمة العزم على الصلابه نوجد الفرق فى زاويتى الدوران فى طرفى العمود $(\Theta_2 - \Theta_3)$.

وهكذا بالنسبة للعمود الثالث يكون عزم اللى فيه هو المجموع :

$$(I_1 \omega_n^2 \Theta_1 + I_2 \omega_n^2 \Theta_2 + I_3 \omega_n^2 \Theta_3)$$

وحسب قانون نيوتن فإن مجموع عزوم قوى القصور للدوارات يساوى عزوم القوى الخارجيه ، وبما انه لا تؤثر أى عزوم قوى خارجيه على المجموعه ككل فإن مجموع عزوم قوى القصور للدوارات كلها لابد أن يساوى صفر وهو الذى يعبر عنه بالشرط الرياضى التالى :

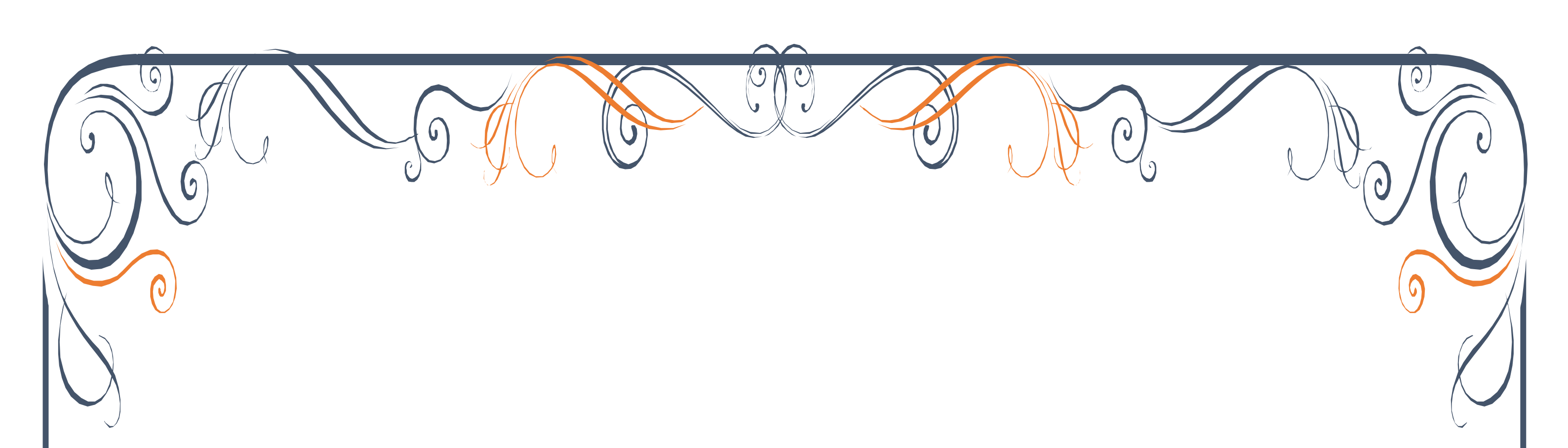
$$\sum I \omega_n^2 \Theta = 0$$

مما سبق نجد أننا إذا علمنا قيمة Θ_1 , ω_2 فأننا يمكن أن نوجد Θ_2 , Θ_3 وبذلك نستطيع أن نتحقق من الشرط $\sum I \omega_n^2 \Theta = 0$.

ولكننا نلاحظ أن قيم Θ_2 , Θ_3 تتناسب مع قيم Θ_1 لذلك نفرض قيمة Θ_1 تساوى الوحدة ونوجد تبعاً لها Θ_2 , Θ_3 ..... وإذا أردنا إيجاد Θ_2 , Θ_3 لقيمة معينة لـــ Θ_1 فما علينا إلا ضرب Θ_2 , Θ_3 ... التى حصلنا عليها فى قيمة Θ_1 الجديدة .

فى المسائل العملية فإن قيمة ω_n (التردد الطبيعى) لا تكون معلومة بل هى المجهول المراد إيجاده .

وفى هذه الحالة فإننا نفرض قيمة معينة لـــ ω_n ونفرض كذلك أن $\Theta_1 = 1$ ونوجد السعات Θ_2 , Θ_3 .. ..(كما سبق شرحه) ثم نوجد المجموع $\sum I \omega_n^2 . \Theta$ ، فإذا كان هذا



المجموع يساوى صفراً كانت ω_n المفروضة صحيحة ، وإذا لم يكن يساوى صفراً ، فإننا نعيد فرض قيمة أخرى لـ ω_n وبنفس الطريقة نوجد $\Sigma I \omega_n^2 \Theta$ وهكذا إلى أن يساوى صفراً .

يمكن إتمام هذه الحسابات على الحاسب الالكترونى بسهولة ، ويفضل تنظيم هذه الحسابات بوضعها فى جدول خاص لتفادى الخطـــأ ولسرعة الإنجاز ويسمى بجدول " هولزر " Holzer Tabulation والموضح بالشكل (١١ ــ ٢٧) .

Holzer Tabulations

Six-cylinder Engine, Reduction Gear and Propeller

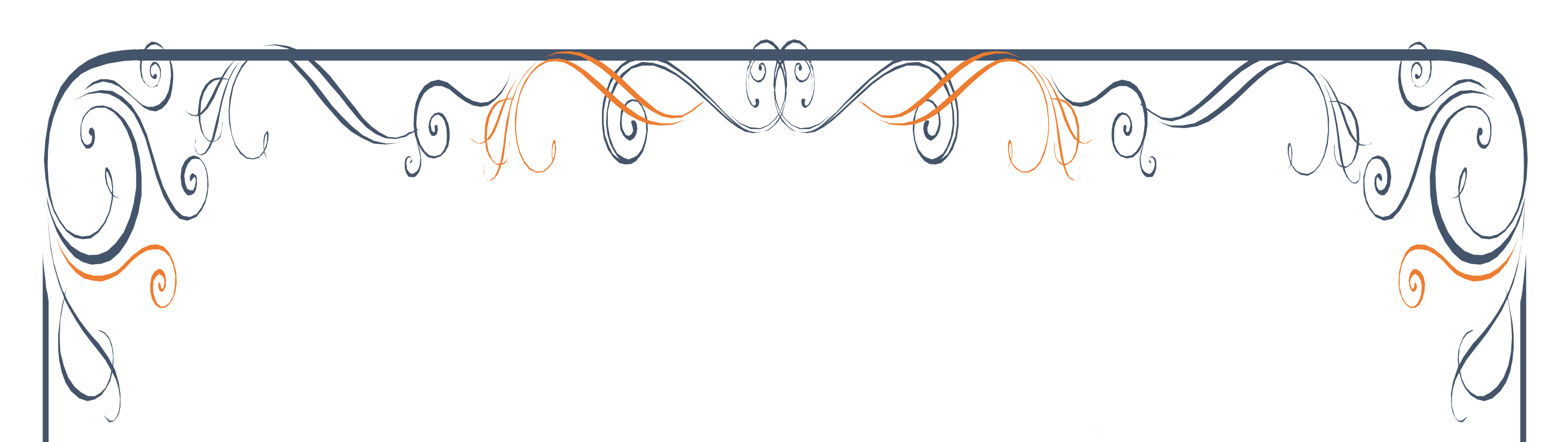
One node tabulation. Frequency = 477 vib/min. $\omega^2 = 2480$ rad²/sec²

Column No.		1	2	3	4	5	6	7
Rotor		I	$I\omega^2$ ($\times 10^6$)	θ	$\delta T = I\omega^2\theta$ ($\times 10^6$)	$T = \Sigma I\omega^2\theta$ ($\times 10^6$)	q ($\times 10^6$)	$\delta\theta = \frac{\Sigma I\omega^2\theta}{q}$
A	Damper	361·3	0·899	1·0000	0·899	0·899	1239	0·0007
B	No. 1 Cyl.	316·2	0·787	0·9993	0·787	1·686	874	0·0019
C	No. 2 Cyl.	316·2	0·787	0·9973	0·786	2·472	874	0·0028
D	No. 3 Cyl.	316·2	0·787	0·9945	0·783	3·255	823·8	0·0040
E	No. 4 Cyl.	316·2	0·787	0·9906	0·780	4·035	874	0·0047
F	No. 5 Cyl.	316·2	0·787	0·9859	0·776	4·811	874	0·0055
G	No. 6 Cyl.	316·2	0·787	0·9804	0·772	5·583	787·6	0·0070
H	Flywheel	3957·0	9·853	0·9734	9·587	15·170	5·8	2·6164
I	Coupling	455·0	1·133	−1·643	−1·86	13·31	153·6	0·0860
J	Gears	176·9	0·440	−1·729	−0·76	12·55	18·46	0·6800
K	Propeller	2092·0	5·209	−2·409	−12·55	0		

شكل (١١ ــ ٢٧)

ويلاحظ أن قيم Θ قد تختلف من موجب على سالب كما ظهر بالجدول بين H , I وهذا يدل على وجود عقدة فى العمود بينهما .

ومن طريق جدول " هولزر " نستطيع الحصول على قيم السعات للدورات المختلفة بالنسبة لسعة الدوار الأول ، وذلك بالإضافة إلى قيمة التردد الطبيعى للمحرك ω_n .



ومنها يمكننا فى مرحلة التصميم محاولة إبعاد السرعات الحرجة Critical speeds من مجال التشغيل :

حيث يعتمد التردد الطبيعى فى العمود على :

ـ الطول والقطر .

ـ عدد وموضع الكتل الدوارة مثل الركب ، الوصلات ، الحدافه ، أثقال الاتزان .

فيمكن تعديل مدى السرعه الحرجة بزيادة التردد الطبيعى للعمود بـ :

ـ زيادة القطر والطول . ـ تقليل وزن الحدافه .

ـ زيادة صلادة المحامل . ـ استخدام الوصلات المرنة .

من دراستنا السابقة وصلنا لمنحنى عزم اللى للمحرك وهو متغير حول قيمة متوسطة ويتكرر نفس الشكل كل دورة للمحرك ، ويعتبر هذا العزم هو القوة المتكررة والمسببة للاهتزاز Exciting force فى المحرك .

وعند دراستنا للاهتزازات القسرية Forced vibrations عرفنا أن اهتزاز المجموعه اهتزازا قسريا يكون بنفس تردد القوة المسببة للاهتزاز ، ولذلك فاهتزاز المجموعه المرسومه فى الشكل (١١ ـ ٢٦) يكون اهتزازا قسريا بتأثير عزم اللى للمحرك ، ويكون بنفس تردد هذا العزم . وحيث أن عزم اللى له شكل متكرر ولكنه ليس جيبى Sine curve فإننا نستخدم Fourier series المعروفة فى الرياضة لتحليل منحنى عزم اللى إلى مجموعه من المنحنيات الجيبية ، وذلك ما تعبر كما عنه المعادلة الآتية :

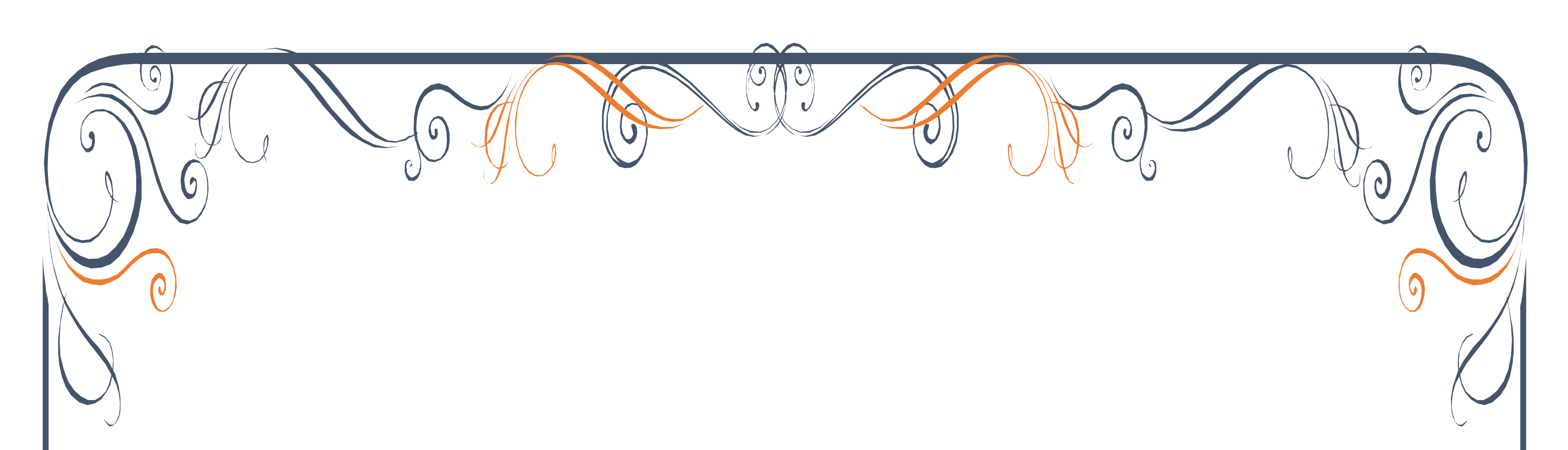
$$T = T_{mean} + C_1 \sin (\omega_t + t_1) + C_2 \sin (2 \omega t + t_2) + \ldots\ldots$$

حيث T_{mean} هو عزم اللى المتوسط (القيمة المتوسطة للمنحنى) ،

ω هى تردد الاهتزاز وهى تعتمد على سرعة المحرك .

ومعروف أن قيمة الحدود فى المفكوك السابق تقل بالتدريج بحيث أن الحدود ذات الأهمية فى الدراسة تكون هى الحد الأول أو الأول والثانى .

وبحساب مقدار الشغل الذى يبذله أى حد من حدود عزم اللى ، يمكن إثبات أن مقدار هذا الشغل يساوى صفر إلا إذا تساوى تردد العزم مع تردد الاهتزاز ، أى أنه عندما تهتز المجموعه بتردد معين فإن المركبه الوحيده من مركبات عزم اللى (فى المفكوك) التى تبذل شغل هى المركبه التى يتساوى ترددها مع تردد الاهتزاز .



والآن إذا ركزنا نظرتنا على المركبة الأولى لعزم اللى وهى $C_1 \sin (\omega t + t_1)$ واعتبرنا أنها القوة المسببة للاهتزاز فى المجموعة فإن ترددها ω يعتمد على سرعة المحرك ، وكما سبق فإن هذا الاهتزاز القسرى يسبب حالة الرنين للمجموعة عندما يتساوى تردد القوه المسببة للاهتزاز مع التردد الطبيعى للمجموعة ، ويزيد مقدار الاهتزاز زيادة كبيرة مع الزمن مما يسبب إجهادات قاسية على العمود يؤدى إلى كسره .

السرعة الحرجة : Critical speed

إذا دار المحرك بسرعة حيث تطابق تردد الذبذبات نتيجة الاحتراق فى الاسطوانات مع التردد الطبيعى للمنظومة فتسمى هذه الحالة بالرنين Resonance،وينتج عنها ذبذبات لها سعة Amplitude كبيرة .

ومن المعروف أن معظم حالات الكسر فى أعمدة المرفق تكون نتيجة لإجهادات اللى الكبيرة والناتجة عن الاهتزاز بسعة كبيره عند السرعات الحرجة ، ولذلك فيجب تفادى قيم الاهتزازات الكبيرة عن طريق البعد دائماً عن السرعات الحرجة للمحرك أثناء التشغيل ودائما ما تزود المحركات بالأجهزة المانعة للذبذبات Detuners أو الأجهزة الخامدة للذبذبات Dampers .

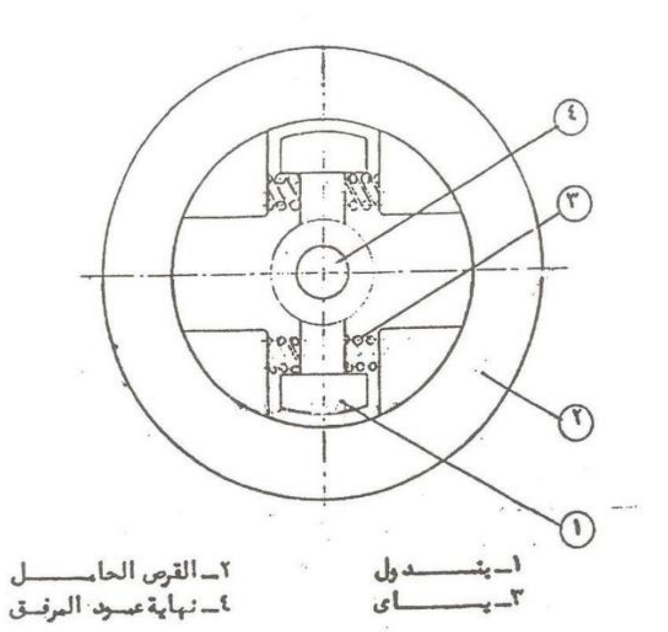
وفيما يلى سنعرض مثال لكل من النوعين من هذه الأجهزة :

١١ ـ ٩ ـ ١ مانع الذبذبات البندولى :

Pendulum detuner : (transverse spring pendulum detuners)

يتكون مانـــــع الذبذبات البندولى المبين بالشكل (١١ ــ ٢٨) من بندول ذو عزم قصور I_p يدور حول عمود المرفق دون أن يكون مثبت به وعدد من اليايات المحصورة بين البندول وقرص ذى عزم قصور كبير I_c ، ويدور القرص مع عمود المرفق ، ويمكن الاستعاضة عن اليايات بجزء من عمود مكافئ صلابته K_p . شكل (١١ ــ ٢٩) .

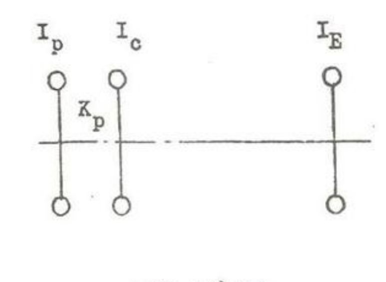




١ــ بنـــــدول ٢ــ القرص الحامـــــل
٣ــ يـــــاى ٤ــ نهاية عمـود المرفـق

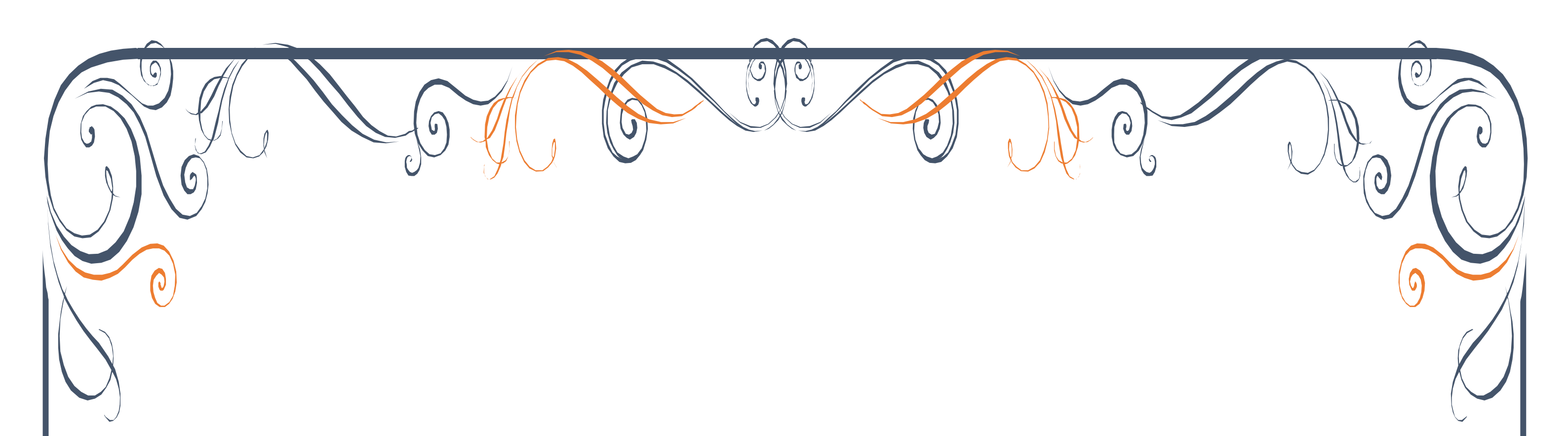
شكل (١١ ــ ٢٨)

إذا فرضنا أن سرعة المحرك ω_E فإن مانع النبذبات يصمم بحيث يكون $\frac{K_p}{I_p} = \omega_E^2$ مما يؤدى إلى إخماد نبذبات اللى بالتردد المساوى لسرعة المحرك ويؤدى إلى ظهور ترددين طبيعيين آخرين أقل أو أكثر من التردد الأصلى (المساوى لسرعة المحرك) وإذا اختيرت قيمة K_p كبيرة كبراً كافياً ، فإن المسافة بين الترددين الجديدين تكون كبيرة كبراً كافياً لإبعادها عن مجال تشغيل المحرك Running range ($I_p \simeq 0.1 : 0.3 \; I_E$)



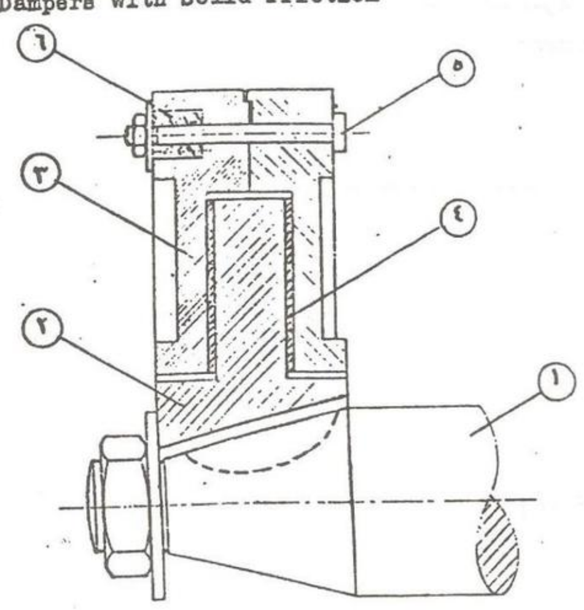
شكل(١١ - ٢٩)





١١ ـ ٩ ـ ٢ خامد الذبذبات Dampers with solid friction

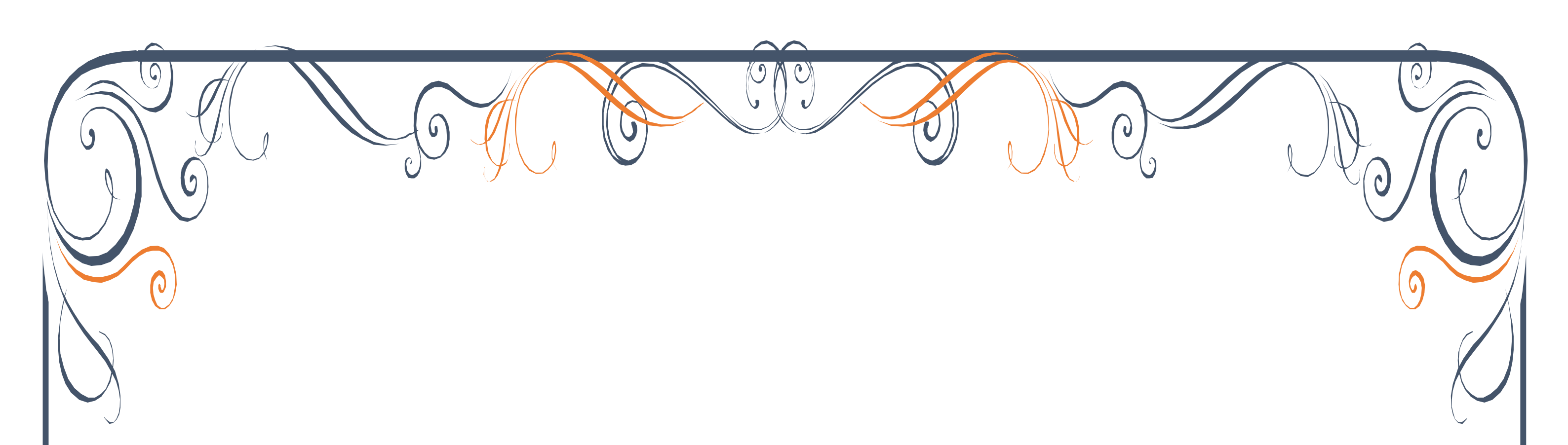
يعمل على تقليل سعة ذبذبات اللى دون تغيير التردد الطبيعى للعمود .



١ـ عمود المرفق
٢ـ قرص مثبت فى العمود
٣ـ الحدافة
٤ـ مادة احتكاك
٥ـ مسمار ربط
٦ـ ياى

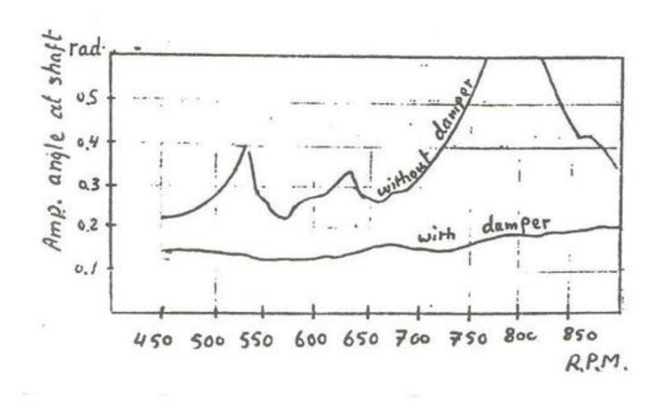
شكل (١١ ـ ٣٠)

يبين الشكل (١١ ـ ٣٠) خامد للذبذبات Vibration damper ، ويتكون من قرص مثبت على نهاية عمود المرفق ، يدير الحدافه عن طريق الاحتكاك ، وتسبب قوة الاحتكاك قوة عمودية على السطح تنتج من ربط المسامير المبينة باستخدام يايات .

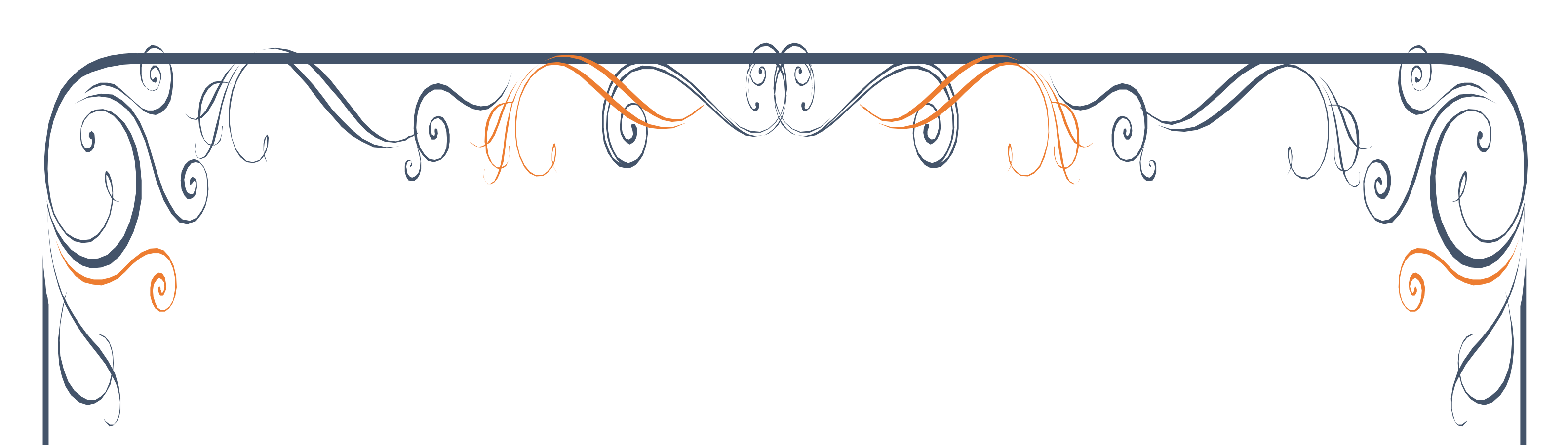


يستخدم هذا الخامد كثيراً فى محركات الديزل لتقليل سعة ذبذبة اللى لعمود المرفق ، وذلك لأنه عندما يقترب المحرك من السرعة الحرجة وتزيد سعة ذبذبة اللى ، فإن عزم قصور الحدافه يمنعها من متابعة نفس حركة العمود المترددة مما ينتج عنه حركة نســبية (انزلاق) بين القرص المثبت على عمود المرفق وبين الحدافه ، وهذه الحركة مضافاً إليها عزم الاحتكاك المنقول تؤدى إلى امتصاص Dissipation جزء من طاقة الاهتزاز .

وعن طريق ضبط ربط المسامير باستخدام اليايات فإننا نستطيع ضبط قيمة قوى الاحتكاك بحيث تكون كبيرة بدرجة كافية لنقل العزم اللازم لإدارة الحدافه،ولكنها تسمح فى نفس الوقت بحدوث انزلاق وهو العامل الأساسى فى امتصاص الذبذبات ، ويمكن تمثيل تأثير الخامد بالشكل (١١ ــ ٣١) .



شكل (١١ ــ ٣١)



أسـئلة

١. وضح مع الاستعانة بالرسم القوى المؤثره على أجزاء الحركة فى المحرك الديزل ، وما هى قيمة عزم اللى الواقع على عمود المرفق ؟

٢. اشرح معنى الاتزان الاستاتيكى والاتزان الديناميكى ، أعط مثال لتوضيح ما تقول ، واستعن بمضلع القوى ومضلع العزم .

٣. عرف الآتى :

الاهتزازات القسريه ، الاهتزازات المخمودة ، الاهتزازات الطبيعية .

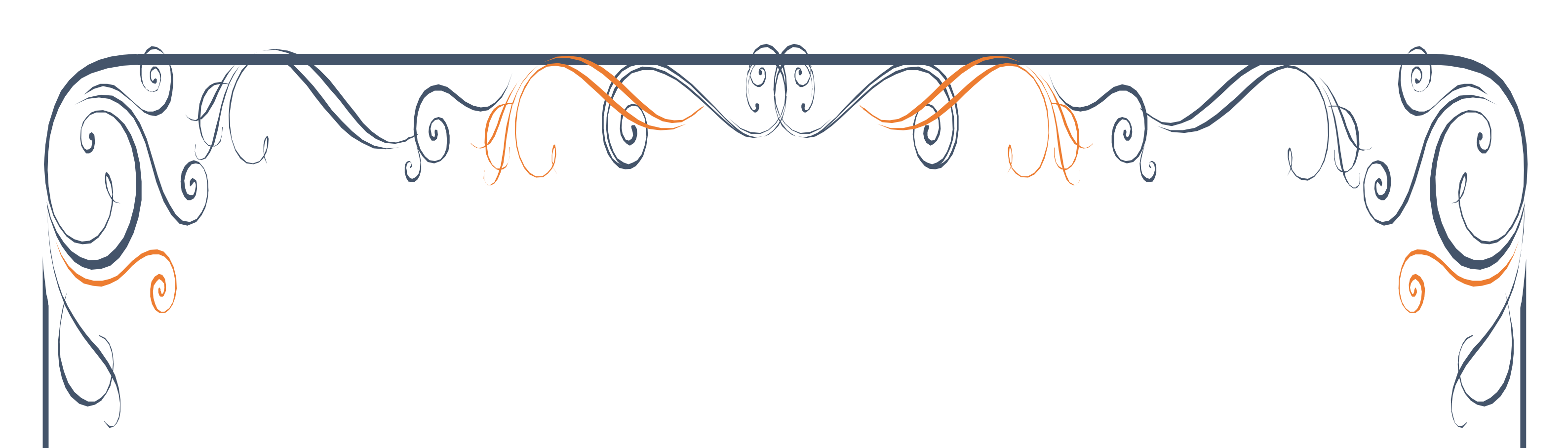
٤. ما المقصود بالرنين والسرعات الحرجة ؟

٥. اشرح معنى درجات حرية الحركة وبين ذلك على منظومة مكونة من قرصين .

٦. ارسم العلاقة بين عزم اللى وزاوية عمود المرفق .

٧. لماذا يستخدم فى بعض المحركات مانع الذبذبة ؟ اشرح مع الرسم أحد هذه الأنواع .

٨. ارسم واشرح أحد أنواع خوامد الذبذبة وبين تأثيره على قيمة الذبذبة .



الباب الثانى عشر

ضواغط الهواء Air compressors

١٢ ـ ١ مقدمة Introduction

يستخدم الهواء المضغوط على السفينة فى عدة أغراض منها : بدء حركة المحركات الديزل الرئيسية والمساعدة وتشغيل الصفارة والسرينة ، واختبار المواسير والصهاريج وفى أعمال النظافة ودوائر التحكم الآلى و حديثاً يستخدم كياى لصمامات العادم بدلاً من اليايات المعدنية

يشتمل الهواء الجوى على ٢٣% أكسيجين ، ٧٧% نيتروجين بالوزن ، وحيث أن كلاهما قريب من الغاز الكامـل ، فيمكن تطبيق قانونى " بويل " و " شارل " فى عملية التمدد أو الانضغاط .

عند إنضغاط الهواء يرتفع ضغطه ودرجة حرارته ويقل حجمه ، وللحصول على الهواء المضغوط تستخدم الضواغط وهى تصمم بأنواع مختلفة . وشكل (١٢ ــ ١) يوضح أربعة أنواع شائعة وهى :

أ) الترددى Reciprocating

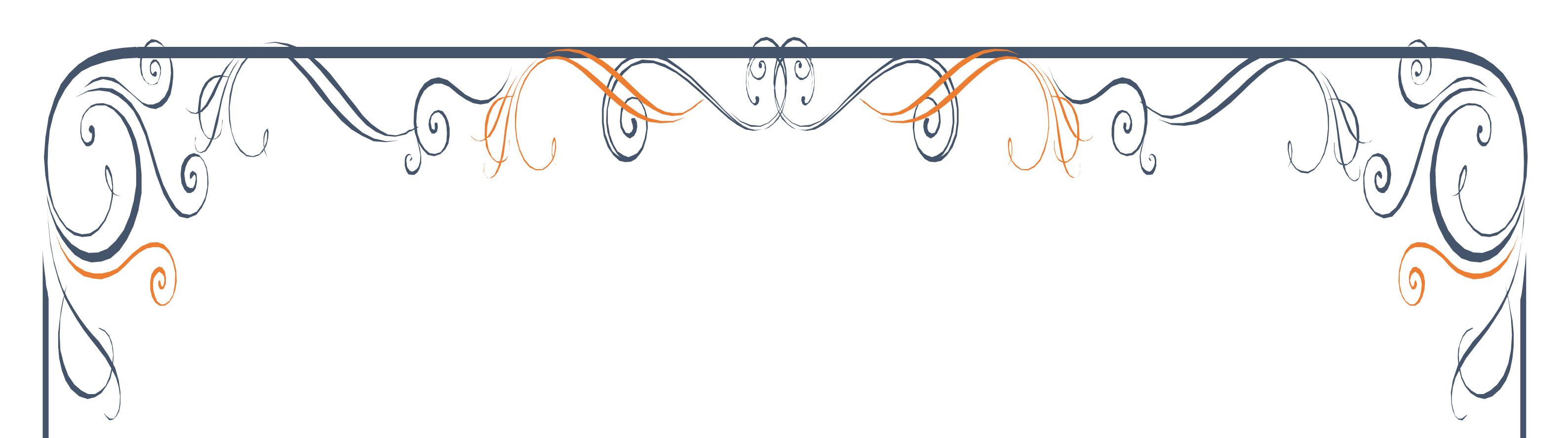
ب) الطرد المركزى Centrifugal

ج) الحلزونى Screw

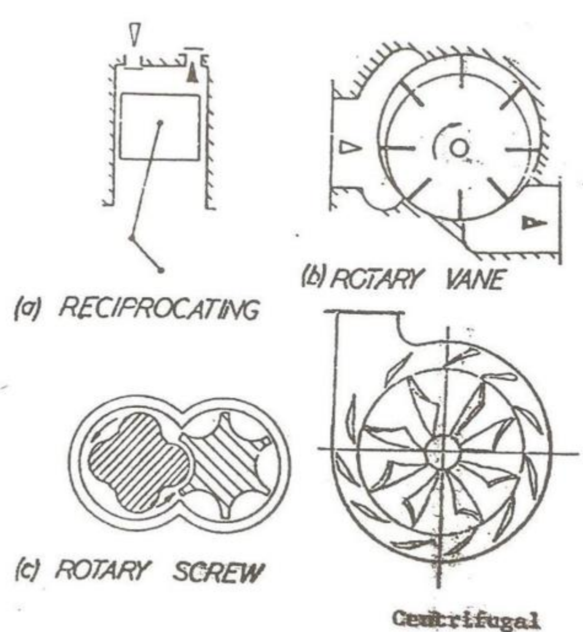
د) الدوار Rotary-vane

وتستخدم الضواغط الترددية للحصول على الهواء بضغط أعلى من ٧ بار ، حيث تحدد درجة حرارة الهواء المضغوط أقصى نسبة إنضغاط ، والقيمة ٧ :١ هى المناسبة فى كل مرحلة ويتبعها التبريد ، وعليه فإنه يسهل الحصول على هواء مضغوط إلى ٣٠ بار بواسطة ضاغط ترددى ذو مرحلتين .

أما فى حالة الضواغط الدوارة . فيحدد التهريب بين المرحلتين أقصى فرق بينهما ويقدر بحوالى ٧ بار ، وعليه يلزم للحصول على هواء مضغوط إلى ٣٠ بار ضاغط دوار ذو ستة



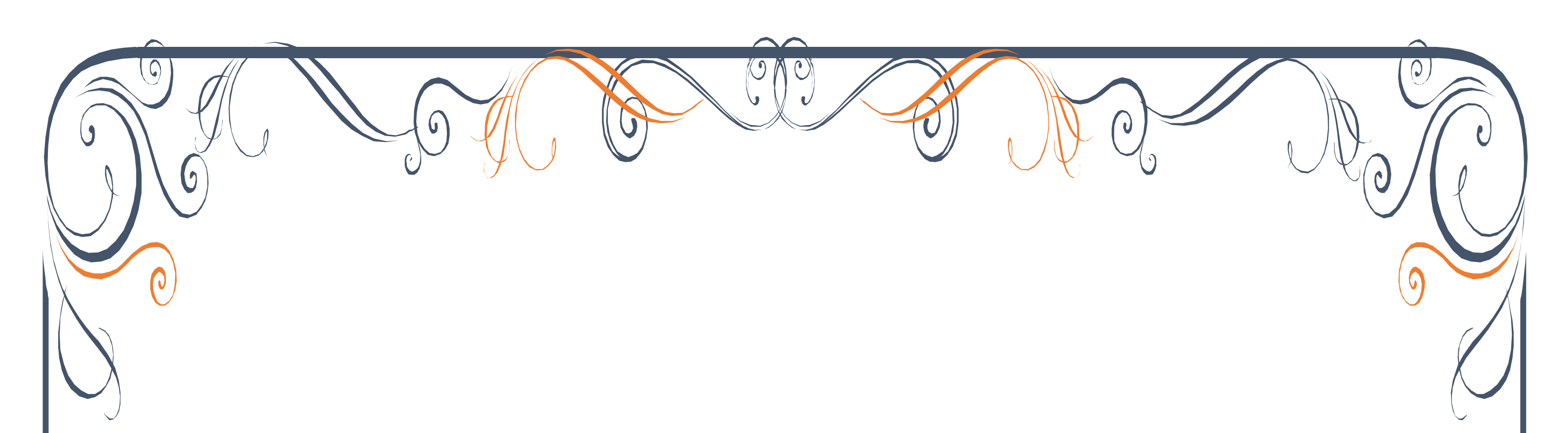
مراحل والذى يصعب إنتاجه بالتكلفة المناسبة ، وعليه فإن الإنتاج الفعلى لهذه الأنواع من الضواغط قد تحدد بذات المرحلة الواحدة .



Various types of air compressor.

شكل (١٢ ــ ١)

وتستخدم الضواغط الترددية للحصول على هواء بدء الحركة ، بينما تستخدم الضواغط الدوارة فى الحصول على أحجام كبيرة من الهواء وبضغوط منخفضة نسبياً كما فى حالة هواء الكسح .



١٢ ـ ٢ تعاريف : Definitions

الانضغاط تحت درجة الحرارة الثابتة Iso-thermal compression

وفيه تسحب الحرارة المتولدة بالانضغاط بمعدل يجعل درجة حرارة الهواء تكاد تكون ثابتة ، وهذا يتطلب أن تكون الاسطوانة صغيرة القطر ، وحركة المكبس بطيئة جداً مع التبريد الجيد .

الانضغاط الأدياباتى Adiabatic compression

وفيه تكون كمية الحرارة ثابتة خلال عملية الانضغاط ، بمعنى أنه ليس هناك حرارة مفقودة أو مكتسبة .

الانضغاط البوليتروبى : Polytropic compression

إذا تسربت بعض الحرارة من الهواء المضغوط إلى مياة التبريد ، كما هو الحال فى التطبيق الفعلى ، فلا يكون هذا الانضغاط " ايزوثرمالى " ولا " أدياباتى " بل يعرف بالانضغاط " البوليتروبى " .

الانضغاط متعدد المراحل : Multi-stage compression

إذا تم انضغاط الهواء فى عدد لا نهائى من المراحل ، مع التبريد بين كل مرحلة وأخرى ، وتبريد الهواء فى النهاية إلى درجة حرارة الجو ، فإن الانضغاط فى هذه الحالة يكون تقريباً تحت درجة حرارة ثابتة ، ويكون هناك وفراً فى القدرة . ولكن تطبيق ذلك غير ممكن عملياً ، ويكتفى عادة بمرحلتين أو ثلاثة فقط .

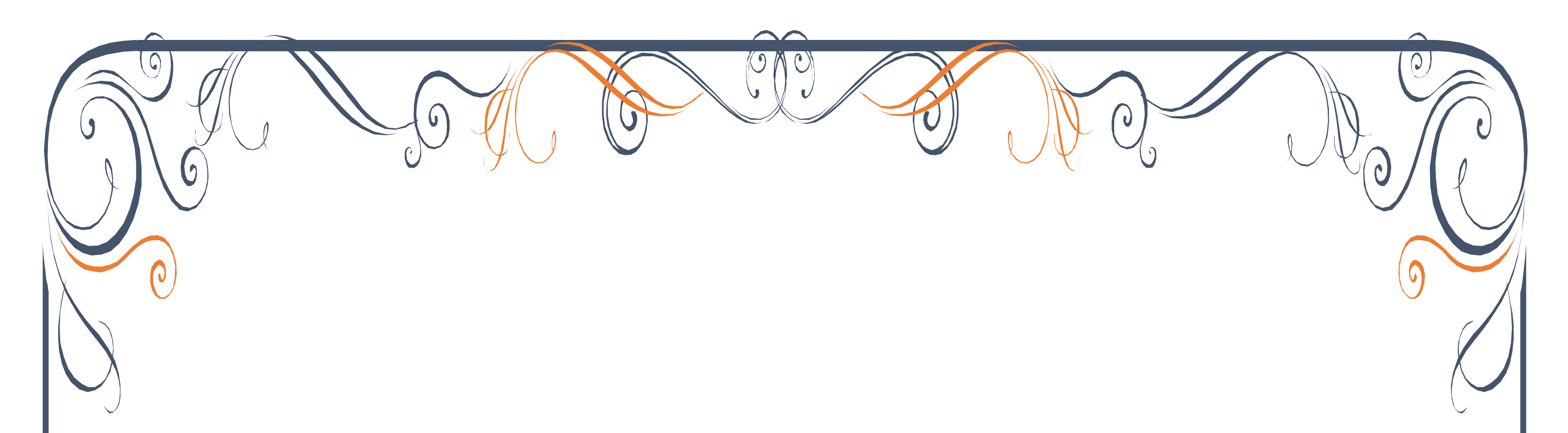
نسبة ارتفاع الضغط : Pressure-ratio

هى النسبة بين الضغط المطلق النهائى والضغط المطلق الأولى وذلك بالنسبة للضاغط ذات المرحلة الواحدة .

أما بالنسبة للضاغط ذات المرحلتين فتساوى :

$$\sqrt{\frac{\text{الضغط المطلق النهائى}}{\text{الضغط المطلق الأولى}}} = \sqrt{\frac{31}{1}} = 5.56$$

إذا كان ضغط الهواء المطلوب ٣٠ بار .



وبالنسبة للضاغط ذات الثلاث مراحل فتساوى :

$$\sqrt[3]{\frac{\text{الضغط المطلق النهائى}}{\text{الضغط المطلق الأولى}}} = \sqrt[3]{\frac{41}{1}} = 3.45$$

إذا كان ضغط الهواء المطلوب = ٤٠ بار

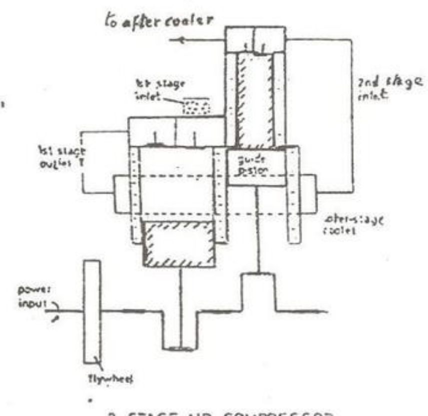
١٢ ـ ٣ ضواغط الهواء الترددية

Reciprocating air-compressors

تستخدم عادة على السفن للحصول على هواء بضغط ٣٠ بار لبدء حركة المحركات الديزل ، وتكون عادة ذات مرحلتين ، وتكون الاسطوانتين متجاورتين أو فوق بعضهما ويسمى Tandem-type وتتميز بتقليل الوزن والحجم .

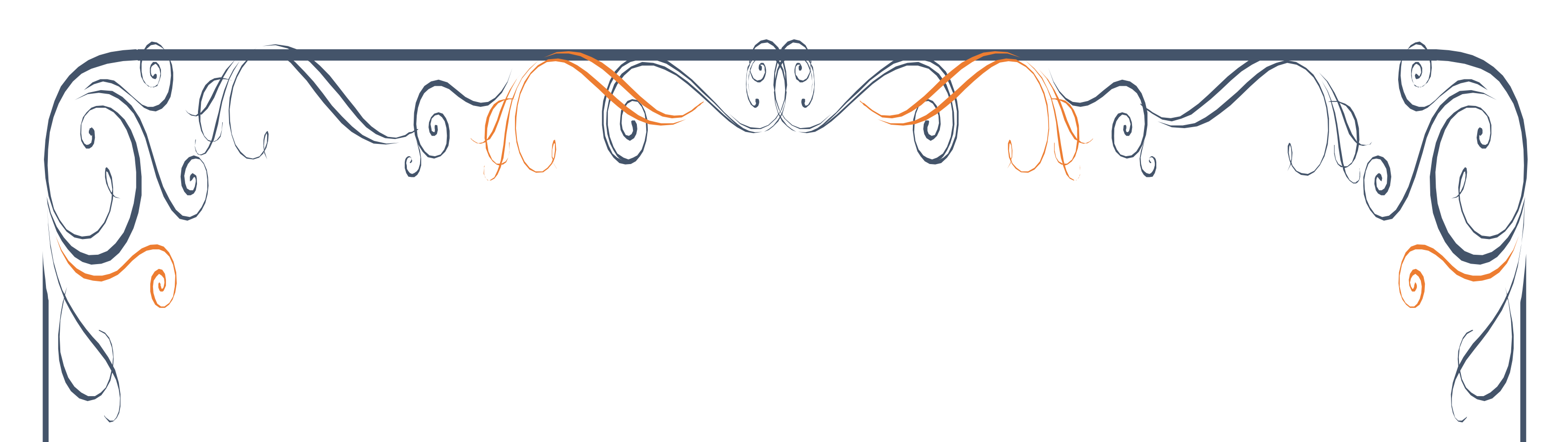
١٢ ـ ١٣ ـ ١ الضاغط ذات المرحلتين Two-stage compressor

يوضح الشكل (١٢ ـ ٢) رسم تخطيطى لضاغط تردى ذا مرحلتين متجاورتين .



شكل (١٢ ـ ٢)

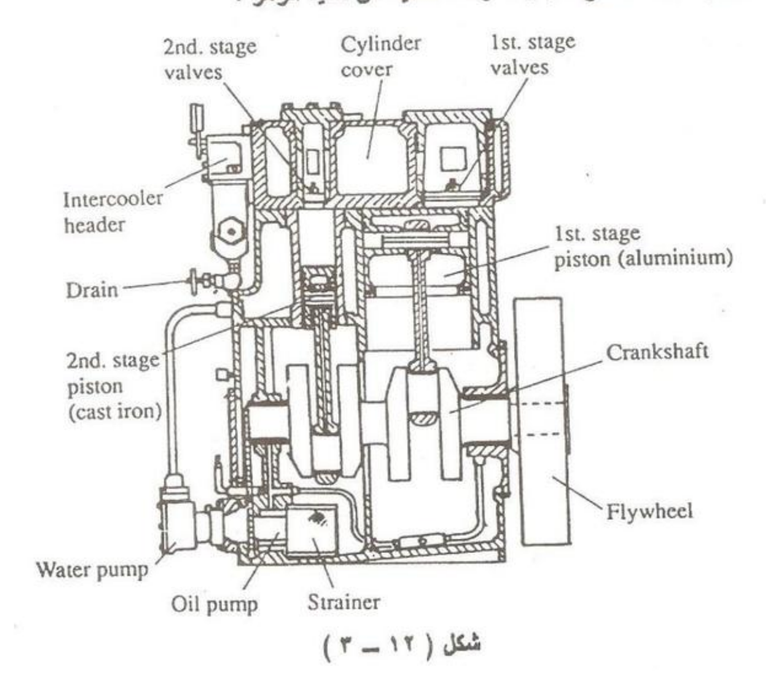




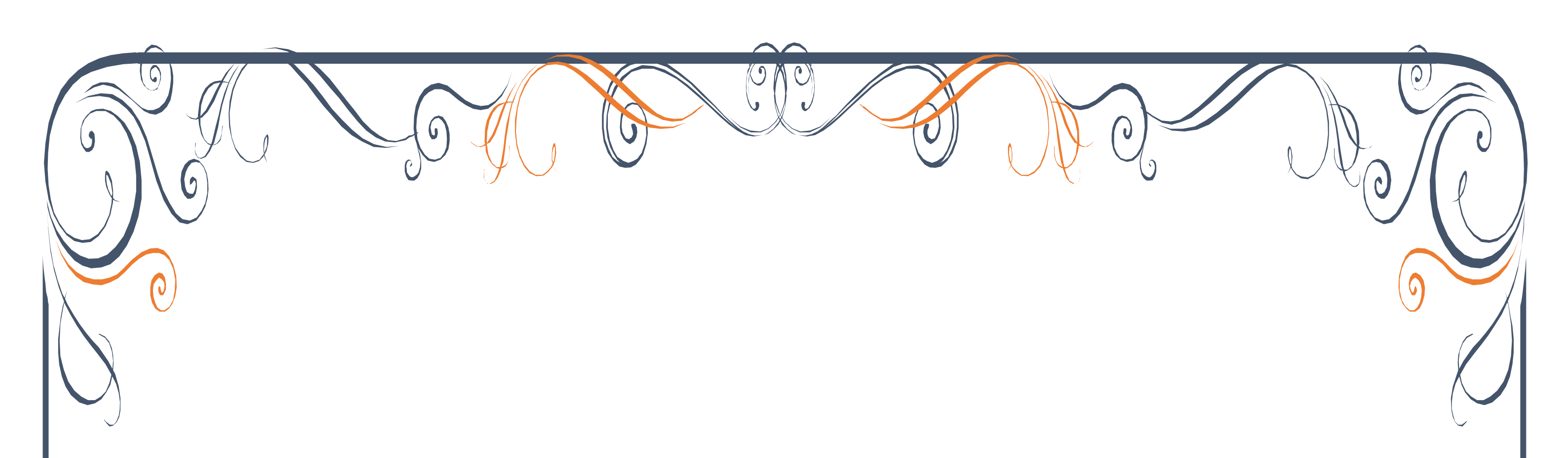
ويتم التبريد بين المرحلة الأولى والثانية بالمبرد البينى وتكون الضـــغوط ، درجـــات الحرارة كما يلى :

	Delivery pressure	Air temperature	
		Before cooler	After cooler
1ST Sage	~ 5.5 bar	110° C	35° C.
2nd stage	~ 30 bar	110° C	35°C

والشكل (١٢ ــ ٣) يوضح مقطع رأسى لضاغط ذات مرحلتين متجاورتين ومكابس جزعية ، ويتضح صغر قطر الاسطوانه الثانية عن الأولى ، وذلك نظراً لصغر الحجم ومع الاحتفاظ بنفس المشوار ، ولاتزان عمود المرفق يصنع مكبس المرحلة الأولى من سبائك الألمنيوم ، بينما يصنع مكبس المرحلة الثانية من حديد الزهر .



شكل (١٢ ــ ٣)

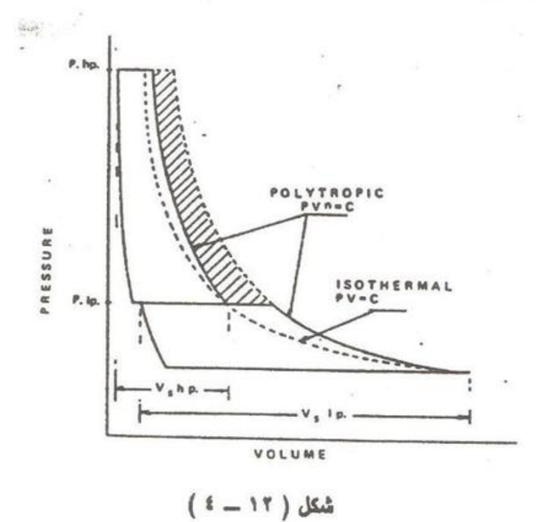


تزود كل مرحلة بصمامين سحب وطرد (غير رجاع) ومن النوع الخفيف ، حيث تصنع من رقائق الصلب الذى لا يصدأ ومحمل بياى شكل (١٢ ــ ٩) وفتحة الصمام الصغيرة تزيد من سرعة الهواء فتعمل على ضمان نظافته باستمرار وإزالة أى أوساخ عليه ، ويدخل الهواء للضاغط عن طريق الفلتر .

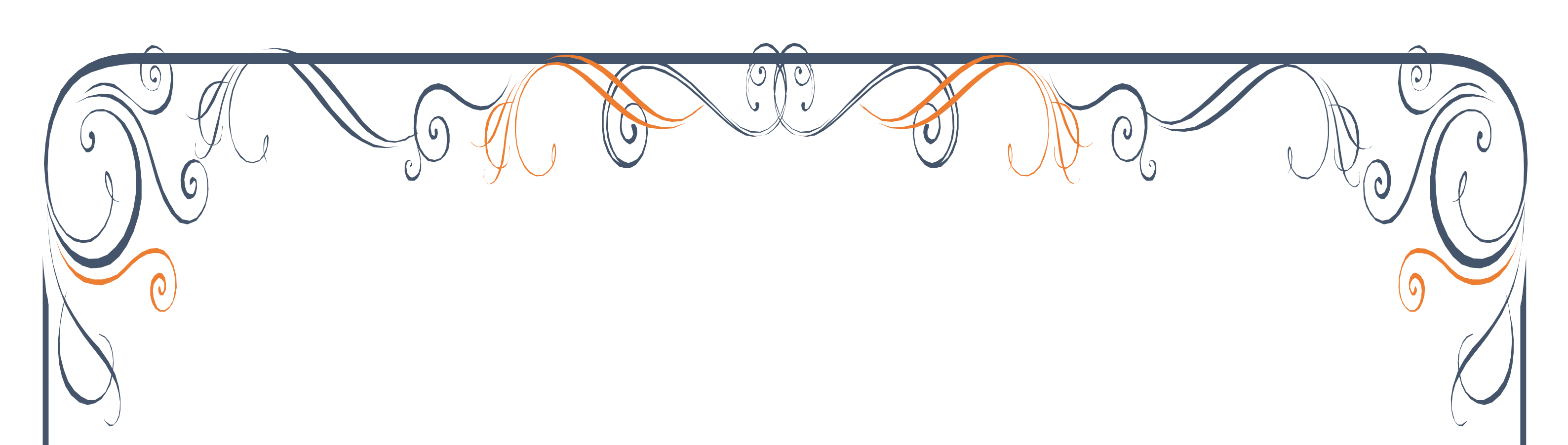
بعد المرحلة الأولى ، يدخل الهواء للمبرد البينى Inter-cooler حيث يتم تبريده إلى درجة الحرارة التى كان عليها تقريباً ، ثم يدخل المرحلة الثانية ، ويتجه بعد ذلك إلى المبرد الأخير After-cooler قبل دخوله لاسطوانة الهواء .

يتم التزييت بواسطة طلمبة ترسية ، وعن طريق ثقوب بعمود المرفق يصل الزيت إلى النهايات الكبرى والصغرى .

ويوضح الشكل (١٢ ــ ٤) العلاقة بين الضغط والحجم لمحرك ذات مرحلتين ، وتأثير التبريد البينى حيث يظهر الوفر فى القدرة المستهلكة كما هو ممثل بالمساحة المهشرة ، حيث يقترب الانضغاط للأيزوثرمالى (أقل قدرة مستهلكة) . هذا علاوة على الاحتفاظ بدرجة الحرارة المناسبة لتلاشى المشاكل التى تظهر مثل حرق طبقة الزيت وزرجنة المكبس ، بالإضافة فإنه يتم التخلص من المياه والزيوت العالقة بالهواء .



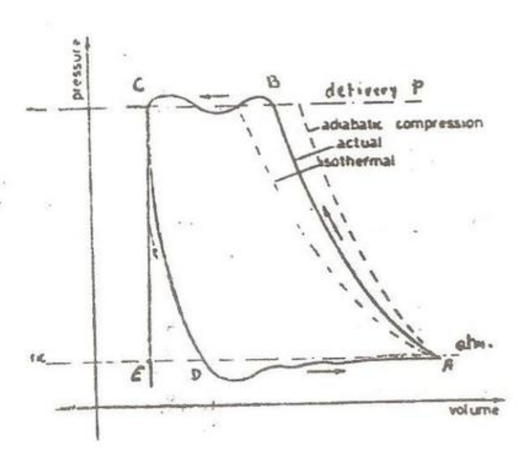
شكل (١٢ ــ ٤)



١٢ ــ ١٣ ــ ١ : دورة التشغيل Cycle of operation

يوضح الشكل (١٢ ــ ٥) دورة التشغيل للمرحلة الأولى للضاغط .

ولنبدأ من النقطة (A) وتكون الصمامات مقفلة ويتحرك المكبس من (A إلى B) ضاغطاً الهواء الذى تم سحبه إلى ضغط كافى للتغلب على قوة ياى صمام الطرد فيفتحه . ويستمر خروج الهواء بضغط ثابت تقريباً إلى نهاية المشوار عند النقطة (C) ، وعندها يكون المكبس قد تم مشواره ويبدأ فى تغيير اتجاهه حيث يتحرك للخارج ويقفل صمام الطرد. يتمدد الهواء المتبقى فى حجم الخلوص Clearance-volume إلى النقطة (D) إلى أقل من الضغط الجوى بتأثير حركة المكبس للخارج ، ويفتح صمام السحب ويدخل الهواء الاسطوانه أثناء باقى المشوار من (D) إلى (A) .

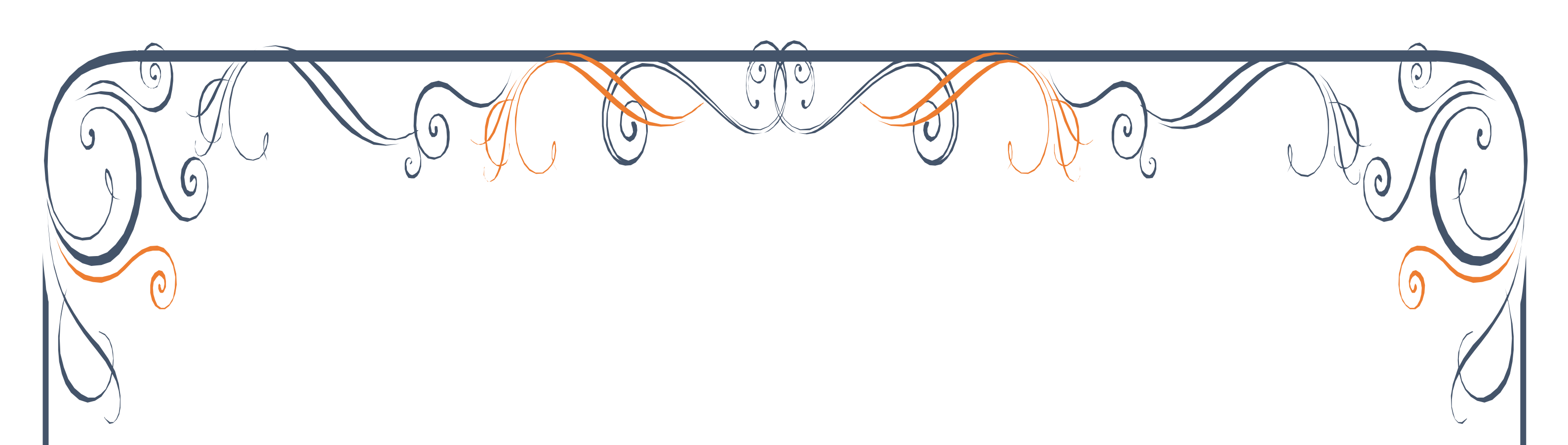


شكل (١٢ ــ ٥)

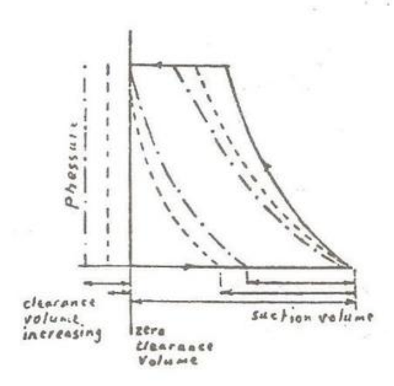
يتضح من ذلك أن المشوار الفعال الذى يدخل فيه الهواء للاسطوانه يتمثل بالمسافة DA بينما تعتبر المسافة ED الفقد فى مشوار السحب ، ويعتمد على حجم الخلوص .

١٢ ــ ٣ ــ ٢ حجم الخلوص : Clearance-volume

يجب أن يتوفر خلوص بين المكبس ورأس الاسطوانه لسلامة التشغيل ، ولكن يجب أن يكون هذا الخلوص أقل ما يمكن .



من الشكل (١٢ ــ ٦) نلاحظ أن الهواء الموجود فى الحيز بين الاسطوانه والمكبس سوف يتمدد عند عودة المكبس لأسفل ، ويصل إلى ضغط يقل عن الهواء فى ماسورة السحب قبل دخول شحنة الهواء . من ذلك يتضح أن جزءاً من مشوار السحب يعتبر غير فعال ، وللحصول على أعلى سعة للضاغط يجب أن يكون ذلك الجزء الغير فعال من مشوار السحب أقل ما يمكن .

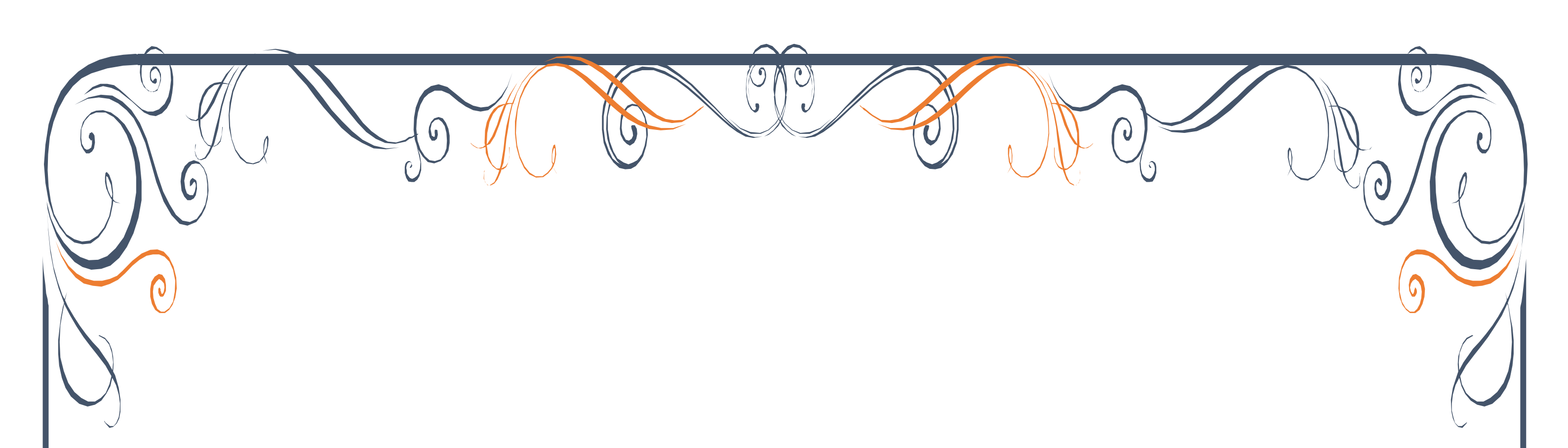


شكل (١٢ ــ ٦)

يراعى عدم تغيير حجم الخلوص ، ويمكن مراجعته بقياس الخلوص الميكانيكى Mechanical-clearance ويمكن قياسه بطريقتين :

أ- يرفع صمام السحب أو الطرد من الوحدة وتوضع كرة صغيرة من الرصاص على طرف المكبس ، وتلف الحدافة حتى يصل المكبس إلى ن.م.ع. ثم ترفع قطعة الرصاص ويقاس سمكها.

ب- يوضع عمود المرفق فى ن.م.ع. ويفك النصف السفلى لمحمل النهاية الكبرى وتوضع ساعة قياس بحيث أن أحد طرفيها يلامس طرف المكبس من أسفل والطرف الآخر يلامس ركبة ذراع المرفق وتؤخذ القراءة ، ثم يرفع المكبس بذراع مناسبة حتى يلامس رأس الاسطوانه ، وتؤخذ القراءة مرة أخرى ، ويكون الفرق بين القراءتين هو الخلوص الميكانيكى .



١٢ ــ ٣ ــ ٣ : الكفاءة الحجمية Volumetric-efficiency

هى النسبة بين حجم الهواء الذى تم دخوله فعلاً الاسطوانه أثناء المشوار إلى حجم المشوار .

العوامل التى لها تأثير عكسى على الكفاءة الحجمية :

١. زيادة حجم الخلوص بين رأس الاسطوانه والمكبس عندما يكون فى ن.م.ع. .
٢. عدم إحكام صمامات السحب والطرد .
٣. تسريب بالشنابر .
٤. ارتفاع درجة حرارة الهواء المسحوب .
٥. ضعف التبريد بالنسبة للاسطوانات والمبردات .
٦. انسداد فى مدخل الهواء (اتساخ الفلتر) .

١٢ ــ ٣ ــ ٤ : فلاتر الهواء Air-Filters

يتعلق فى الهواء الجوى مجموعة من المواد الغريبة ، وإذا سمح بدخولها اسطوانة الضاغط فسوف تتحد مع زيوت التزييت وتكون عجينة تشابه معجون الصنفرة ، تعمل على:

١ ــ زيادة النحر بين الشنابر والجلبه .

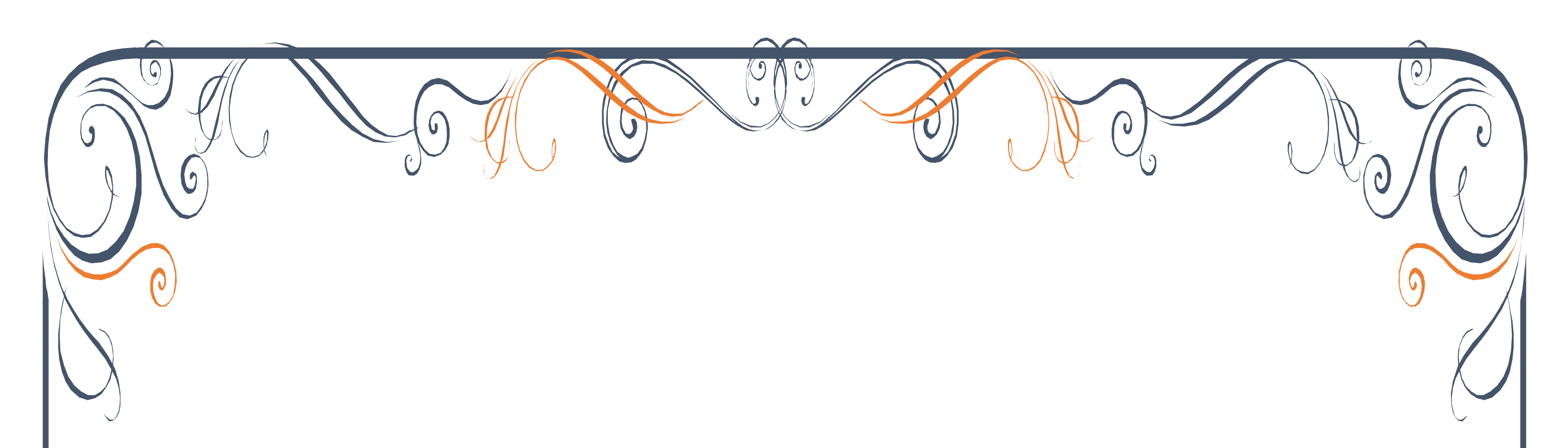
٢ ــ تمنع إحكام الصمامات عند التصاقها بها، وهذا يؤدى إلى تقليل كفاءة الضاغط وارتفاع درجة حرارة هواء الطرد .

٣ ــ كما تتحول بدورها إلى مواد كربونية متوهجة والتى تعتبر بمثابة نقط اشتعال لأبخرة خليط الزيت والهواء ، وقد تؤدى إلى حدوث إنفجارات فى الضاغط .

ولذا فإن وجود الفلاتر يعتبر هام للغاية ، ويجب تنظيفها بانتظام وتغييرها عند اللزوم ، ولا يسمح بتاتاً بتشغيل الضاغط بدون فلتر .

١٢ ــ ٣ ــ ٥ المبردات : Inter-coolers

تستخدم المبردات لتبريد الهواء إلى درجة الحرارة الأولى ، وذلك حفاظاً على سلامة

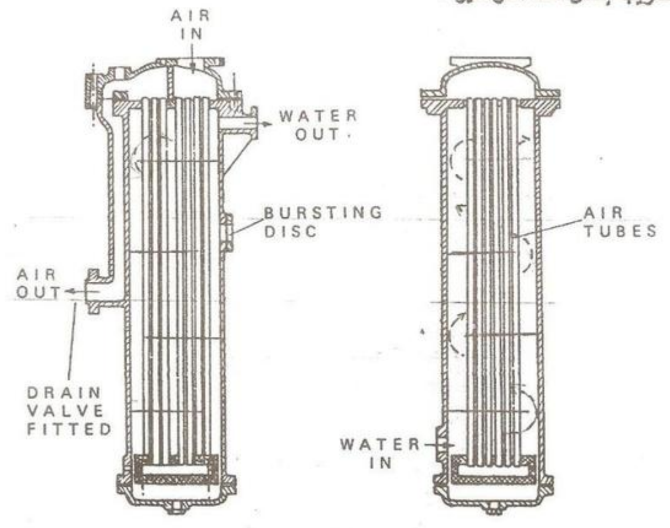


التزييت ، وبزيادة كثافة الهواء يقل حجم المراحل التالية ، هذا بالإضافة إلى إمكانية التخلص من المياة المتكثفة والزيت الهارب .

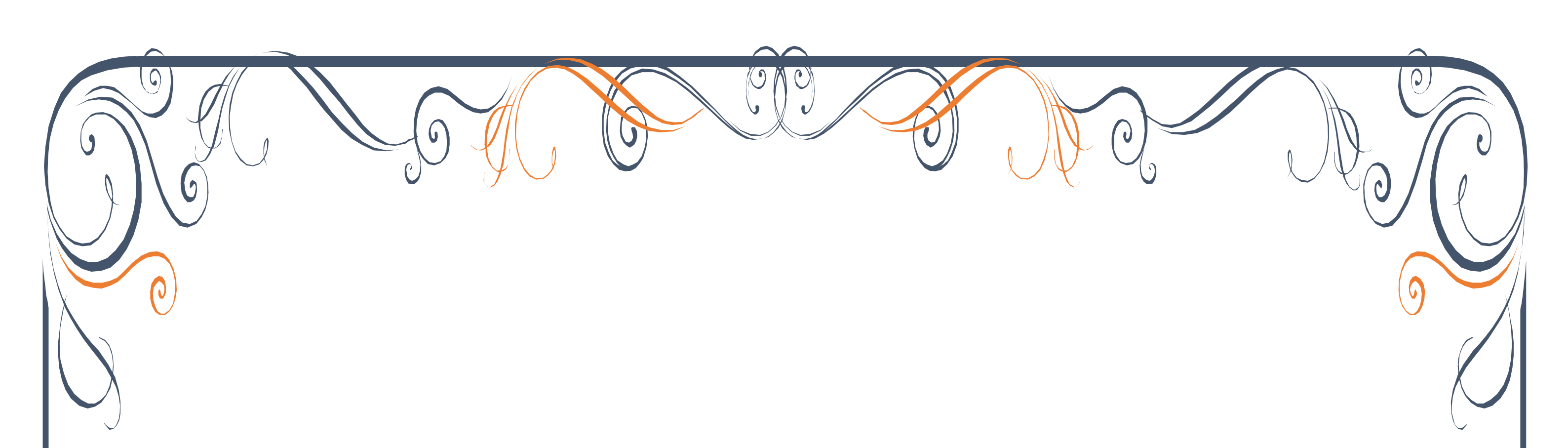
ويوجد غالباً نوعين من المبردات :

١ ــ المبردات ذات المواسير المستقيمه : شكل (١٢ ــ ٧) وتتكون من جسم اسطوانى يحتوى على مواسير مستقيمة تصنع من النحاس ، ويمر بداخلها الهواء ، ويثبت فى قرصين من الأطراف ، أحد هذين القرصين يثبت مع ألغلاف الخارجى للمبرد ، بينما القرص الآخر قابل للحركة ، نتيجة التمدد الحرارى ، وعليه حلقة إحكام لمنع التسيب .

يدخل الهواء فى نصف مجموعة المواسير كما يتضح فى الشكل ، ويدور ليتخذ مسار ثان فى النصف الآخر لمجموعة المواسير ، وبذلك نضمن كفاءة التبريد . أما المياه فتدخل من فتحة بالجسم وتمر حول المواسير بمسار تحدده موجهات إلى أن يخرج من فتحة الخروج . ويوجد قرص انفجار على حيز المياه ينفجر عند زيادة الضغط عن حد معين نتيجة تسريب إحدى هذه المواسير .



شكل (١٢ ــ ٧)



٢ ــ المبردات ذات الماسورة الواحدة على هيئة ملف Coil

تستبدل مجموعة المواسير بماسورة واحدة مشكلة على هيئة ملف ، وتصنع من النحاس ، ولزيادة سطح الانتقال الحرارى فتزود بزعانف من رقائق النحاس Fins وتحتوى على نتوء لتجميع المواد العالقة (مياه ــ زيوت) وقد يتميز هذا النوع بعدم حدوث تسريب نظراً لأنها ماسورة واحدة .

ولكن من عيوبه : سهولة الكسر عند تعرضه للنبنبة ، وعدم إمكانية طب أحد المواسير فى حالة التآكل أو الكسر ، صعوبة التنظيف من الداخل ، عدم كفاءة التبريد فى حالة استخدام المروحه .

ملحوظــه : يجب الاهتمام بالصيانة الدورية للمبردات ، وذلك بالنظافة الداخلية والخارجية للمواسير حرصاً على كفاءة أداء الضاغط ، ومنعاً لحدوث الانفجارات .

١٢ ــ ١٣ ــ ٥ مصافى المياه :Drains

يوجد صمام تصفيه بعد كل مبرد ، وذلك للتخلص من الماء المتكثف الموجود بالهواء وليكن معلوماً أنه عند إنضغاط ٣٠م٣ من الهواء فى الدقيقة ذات رطوبة نسبية ٧٥% ودرجة حرارة ٢٠° إلى ١٠ بار يتكثف حوالى ١/٢ لتر من الماء كل دقيقة . وإذا لم يتم سحب هذه المياه بعد كل مرحلة سيتم دخولها مع الهواء فى المرحلة التالية وتقوم بإزالة طبقة الزيت الموجودة على سطح الاسطوانه،ويجب مراعاة فتح جزرات التصفية عند بدء تشغيل الضاغط وعند إيقافه وأثناء التشغيل .

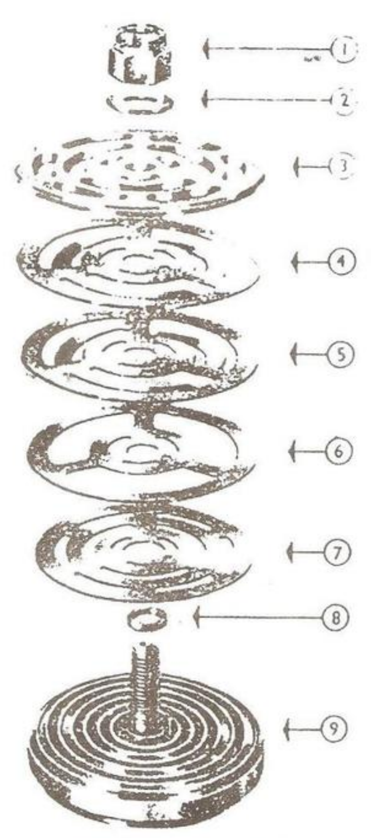
١٢ ـ ٤ صمامات الضاغط

Compressor-valves

يوضح الشكل (١٢ ــ ٨) أحد التصميمات لصمام السحب والطرد للضاغط ، ويصنع الصمام من سبائك الصلب النيكل أو الصلب الذى يحتوى على الكروم والفانديوم أو الصلب الذى لا يصدأ . وتصنع قاعدة الصمام من الصلب الكربونى ٠,٤% كربون ، ويتم تقسية السطح وتلميعه ، أما الياى فيصنع من صلب اليايات .

ويوضح الشكل (١٢ ــ ٩) نوع آخر من صمامات الضواغط ، وهو أكثر انسياباً وأقل وزناً ، فيقل الاحتكاك والقصور الذاتى .

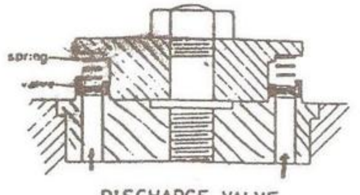




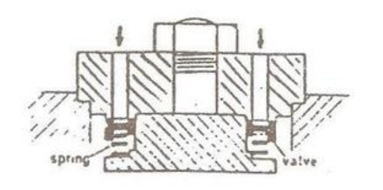
AIR COMPRESSOR VALVES.

1. Nut.
2. Washer
3. Valve cover plate.
4. Spring.
5. Spring.
6. Cushion plate.
7. Valve.
8. Distance piece.
9. Valve seat.

شكل (١٢ ــ ٩)



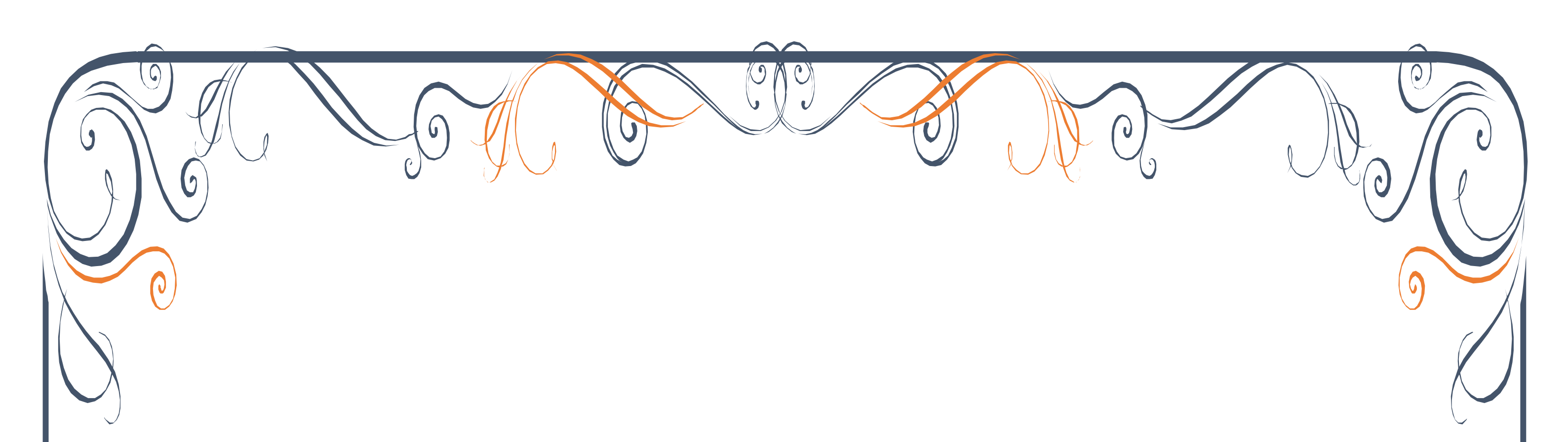
DISCHARGE VALVE



SUCTION VALVE

شكل (١٢ ــ ٨)





ويراعى عدم الخلط بين أجزاء صمام السحب والطرد حيث أن قوة الياى مختلفة فى الحالتين .

ويمكن اختبار صمام طرد مرحلة الضغط العالى ، برفع صمام السحب وفتح هواء الاسطوانه ، فإذا ظهر تفويت ، فهذا يدل على عدم إحكام الصمام ، وكذلك يمكن اختبار صمام سحب مرحلة الضغط العالى ، وذلك برفع صمام الطرد والماسورة الموصلة بين المبرد وصمام السحب ، ثم يفتح هواء الاسطوانه ، فإذا لم يكن الصمام حاكماً تماماً فيظهر الهواء من الوصلة المرفوعة .

١٢ ـ ٥ تزييت الضاغط Lubrication

يتحكم فى اختيار زيت تزييت الضاغط بعض العوامل وهى :

أ- درجة حرارة التشغيل: وهى تؤثر بشدة على لزوجة الزيت ، فإذا كانت درجة الحرارة مرتفعة فتقل اللزوجة ويقل سمك طبقة الزيت ويقل الإحكام بين الشنابر والجلبة ويزيد البرى .

ب- الضغط فى الاسطوانه: إذا كان مرتفعاً وجب مراعاة زيادة لزوجة الزيت لضمان الاحتفاظ بطبقة مناسبة بين الشنابر والجلبة طول فترة التشغيل .

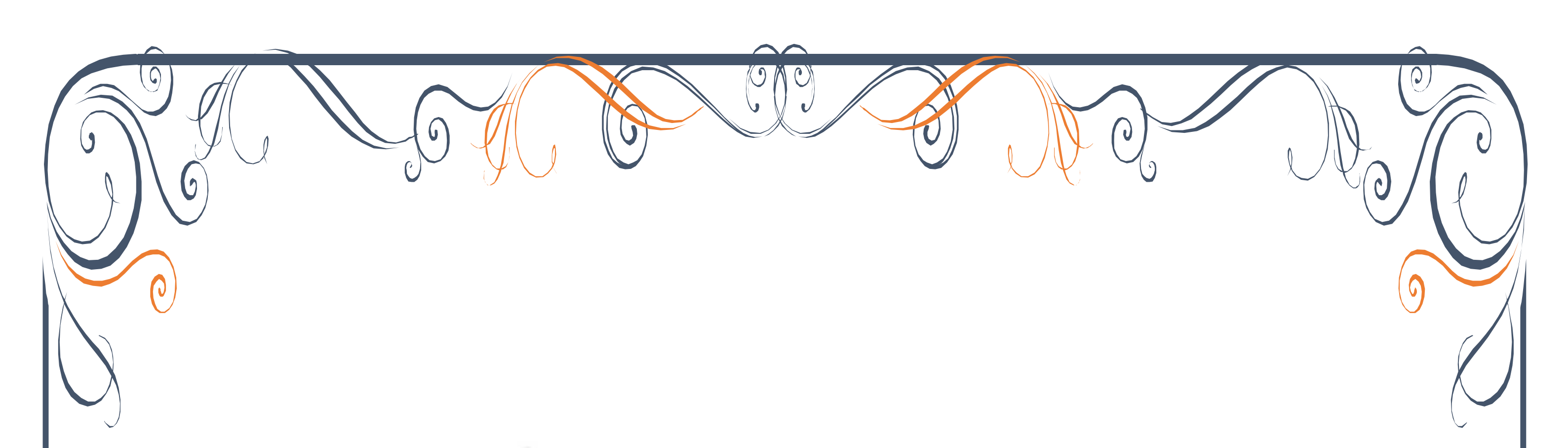
ج-حالة الهواء: حيث يحتوى الهواء الجوى على نسبة من بخار الماء ، يتكثف أثناء التشغيل ويزيل طبقة الزيت المعدنى ، لذا فإنه يستخدم زيت مركب يحتوى على إضافات وهى عبارة عن ٥: ٢٠% زيوت غير معدنيه Fatty-oils ، والتى تضاف إلى الزيت المعدنى لتجعله صالحاً للتزييت مع وجود الماء ، وتكون مستحلب يلتصق على الأسطح المراد تزييتها .

١٢ ـ ٦ التشغيل والصيانه والتنظيم

Operation , maintenance and regulation

يجب مراعاة النقاط التالية عند التشغيل :

- فتح المصافى قبل بدء حركة الضاغط (حالة اللاحمل) وإلا زاد الضغط فجأة .
- فتح المصافى أثناء التشغيل على فترات منتظمة ، وذلك للتخلص من المياه المتكثفة



و الشوائب أولاً بأول ، ويعتبر ذلك هام للغاية حيث أنه إذا سمح للمياه بالمرور من مرحلة إلى أخرى ، أدى ذلك إلى ظهور مشاكل التزييت والصدأ ودق الماء .

- فتح المصافى قبل إيقاف الضاغط لتلاشى احتمال حدوث الانفجار .
- نظافة فلتر سحب الهواء لضمان كفاءة التشغيل .
- تطبيق تعليمات الصانع تماماً من ناحية الصيانة والتزييت . وليكن معلوماً أن ضعف التزييت أو استخدام زيت غير مناسب سوف يؤدى إلى زيادة البرى بين الأجزاء وتنقير وتلف الصمامات ، وزيادته سوف يؤدى إلى زرجنة الصمامات واحتمال حدوث الانفجار .
- تحتاج صمامات الضاغط عادة إلى صيانة مستمرة ، نظراً لتعرضها للخبط المستمر ، ولذا يلزم الكشف عليها وتنظيفها وصنفرتها بعد فترات تشغيل معينة طبقاً لتعليمات الصانع .
- سلامة تبريد الضاغط وذلك لضمان كفاءة التشغيل وجودة التزييت ، وعدم تكون رواسب جيرية على الحوارى ، وتلف الصمامات .

<u>ويمكن تنظيم أداء الضاغط باستخدام إحدى وسائل التحكم التالية :</u>

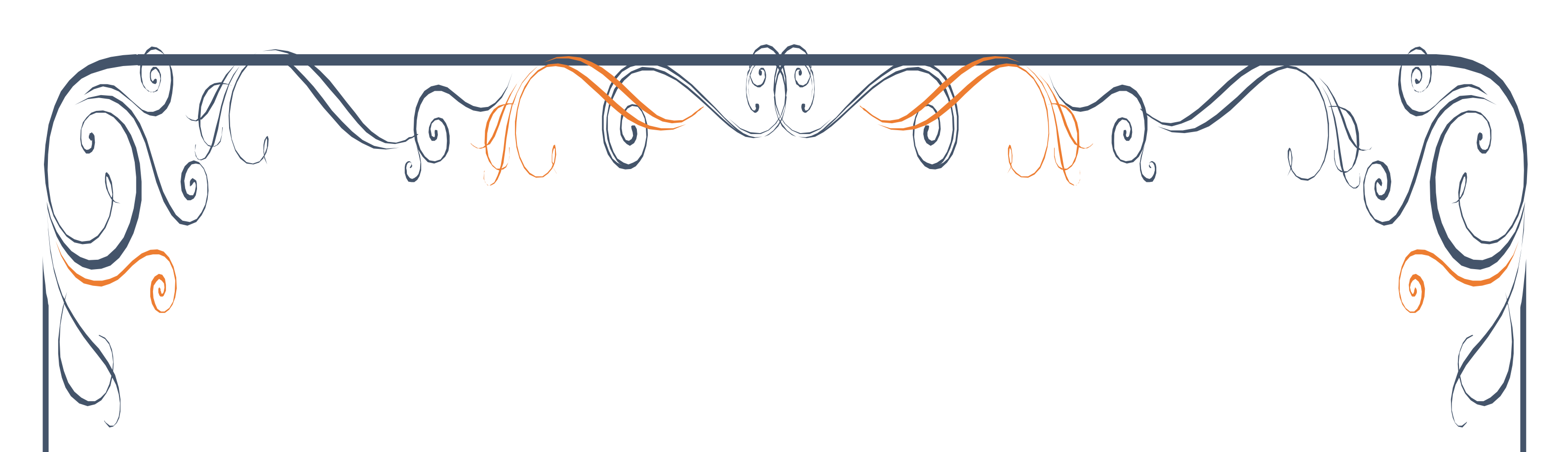
أ- <u>جهاز تحكم للتشغيل والإيقاف :</u>

ويتكون من محول يعمل على توصيل أو قطع التيار الكهربى عن المحرك عند وصول الضغط باسطوانة الهواء إلى حالة MAX-MIN . وفى هذه الحالة يتطلب الأمر زيادة حجم اسطوانة الهواء نسبياً ، لتقليل عدد مرات التشغيل فى وحدة الزمن ، ويراعى أن تيار بدء الحركة للمحرك الكهربى حوالى ضعف تيار التشغيل .

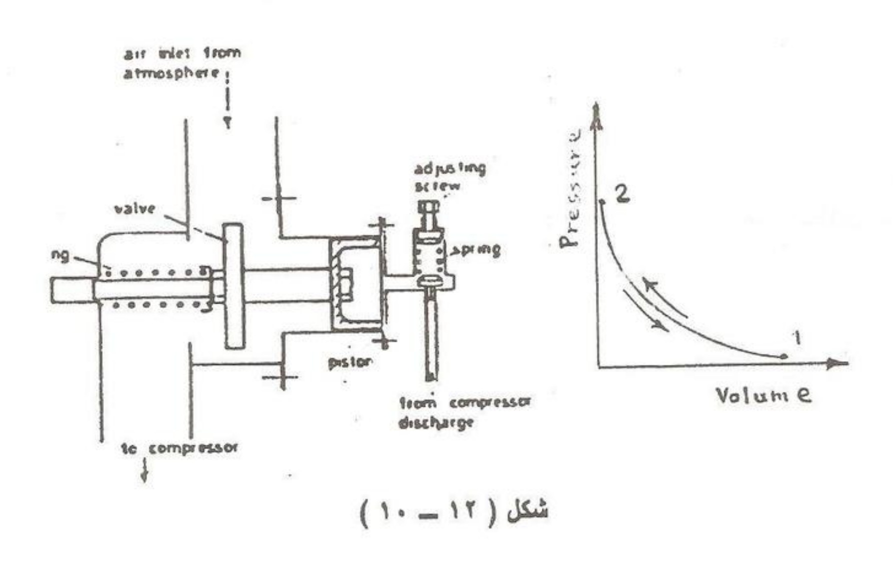
ب- <u>جهاز تحكم مع التشغيل المستمر للضاغط</u> Constant running control

وتستخدم طريقة التحكم هذه بكثرة ، حيث يدور الضاغط باستمرار بسرعة ثابتة ، وعند وصول الضغط إلى القيمة المحددة ، يتم رفع الحمل من على الضاغط بطريقة ما ، حيث لا يعطى هواء ولا يبذل أى شغل فى اسطوانات الضاغط .

وتوجد طرق عديدة لرفع الحمل من على الضاغط ، منها طريقة قفل السحب وهى الأكثر استخداماً . والشكل (١٢ – ١٠) يوضح رسم تخطيطى لصمام رفع الحمل



من على الضاغط Compressor unloading-valve فعند وصول ضغط الطرد إلى القيمة المحددة ، يؤثر على المكبس فتتغلب القوة الناتجة على قوة ضغط الياى ، مسببة غلق سحب الضاغط ، وبذلك يمكن تلاشى فقد هواء الضغط العالى إلى الجو عن طريق صمام الأمان ، كما يكون الشغل المبذول يساوى صفر .



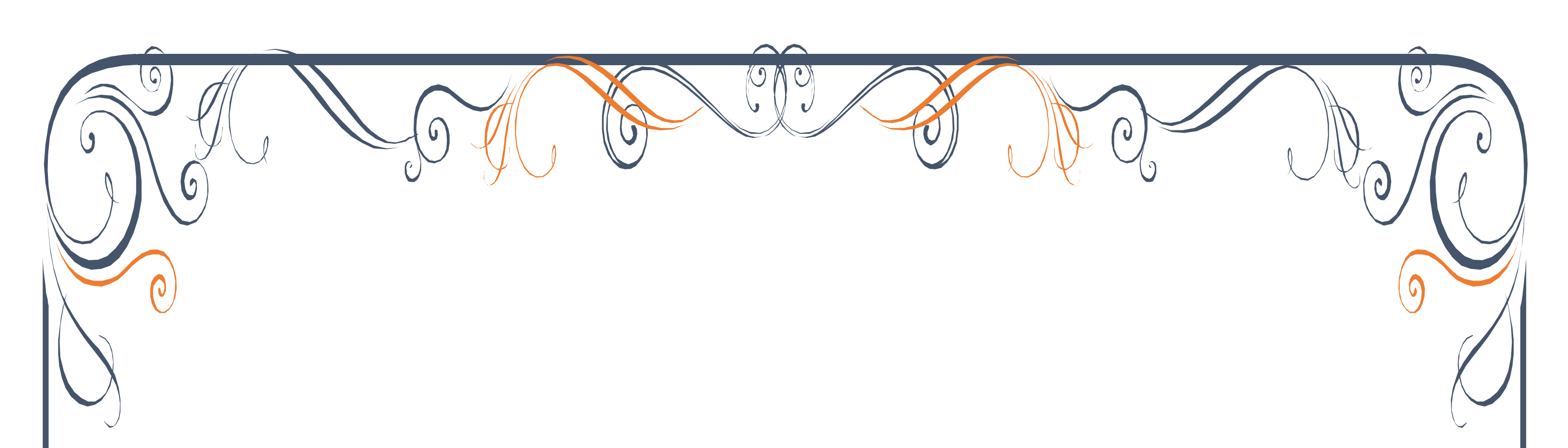
شكل (١٢ ــ ١٠)

١٣ ــ ٦ ــ ١ : الخطوات الواجب إتباعها قبل بدء صيانة الضاغط :

- تفهم تعليمات وكتالوج الصانع .
- التأكد من ملأ اسطوانات الهواء تماماً ، وأن الضواغط الأخرى عاملة .
- عزل الضاغط المطلوب صيانته وذلك بقفل صمام الطرد ومياة التبريد .
- فصل التيار عن الضاغط .
- تجهيز قطع الغيار الأساسية مثل الصمامات والجنط Gaskets وتحضير الأدوات والعدد اللازمة للفك والرباط .

١٢ ــ ٦ ــ ٢ الأعمال :

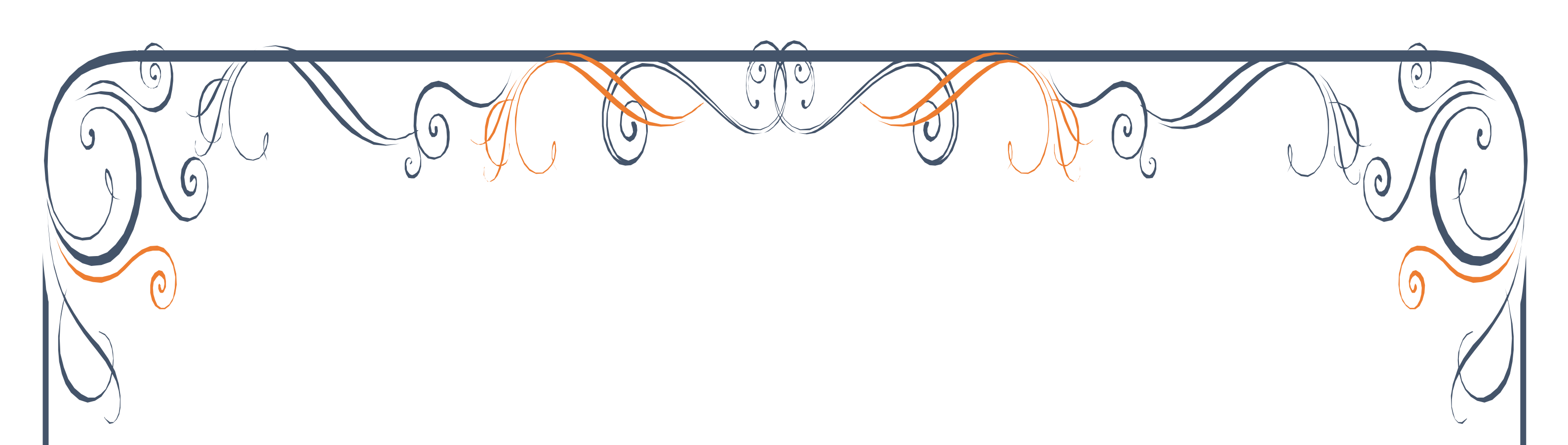
- تصفية الزيت من صندوق المرفق وفك المصفاة ومضخة الزيت وعمل النظافة الداخلية وفحص المضخة وقياس خلوصها وصيانتها .



- تصفية حيز التبريد وفحصه وتنظيفه وتغيير أصابع الزنك إذا لزم الأمر ، وفك المصفاه ومضخة التبريد وتنظيفها وصيانتها .
- يبدأ فى فك المواسير والتركيبات الخارجية ، ويتم تنظيف الأجزاء عند فكها وفحصها وتحديد علامات البرى أو الانهيار .
- يرفع وينظف فلتر الهواء .
- تفك صمامات جميع المراحل ويتم فحصها وتحديد مدى هروب الزيت واختبارها وتغييرها عند اللزوم .
- رفع رأس الاسطوانة ، وكراسى النهايات الكبرى ، وترفع المكابس بأذرع التوصيل، وتنظف وتفحص وتقاس الأقطار وخلوصات بنوز المكابس ويتم تغيير الحلقات عند اللزوم .
- تنظف وتفحص جلبة الاسطوانة وتقاس الأقطار .
- يقاس خلوص كرسى النهاية الكبرى لذراع التوصيل وتختبر ثقوب وممرات الزيت فى اللقم .
- تفك الكراسى الرئيسية وتفحص اللقم ويحدد السقوط وتختبر استقامة عمود المرفق بدورانه باليد .
- يتم تسليك جميع مجارى وثقوب الزيت والتأكد من سلامة الوصلات .
- تفحص كتينة نقل الحركة للمضخات ويراجع بوشها .
- يراجع حجم الخلوص للمكبس .
- تفك المبردات وتنظف وتختبر وتراجع أقراص الانفجار والمصافى .
- إذا وجدت مزايت للجلبة Lubricators يجب تنظيفها وصيانتها .
- يختبر تثبيت الضاغط على قاعدته وتوصيله بالمحرك الكهربى الذى يجب أن تكون جرت له الصيانة الدورية .

<u>١٢ ــ ٦ ــ ٣ الخطوات الواجب اتباعها قبل إعادة تشغيل الضاغط :</u>

- يتم تقفيل جميع الوصلات والتركيبات .
- يملأ حيز التبريد بالماء وتفتح التنفيث لخروج الهواء من الدائرة ليتم التأكد من ملئها ويختبر أى تفويت .

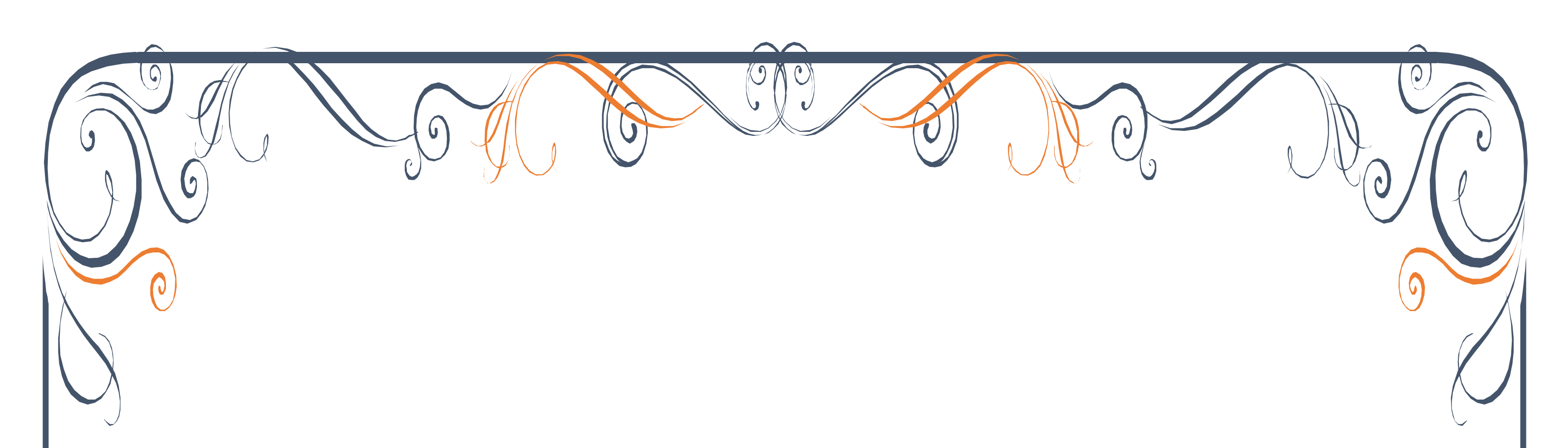


- يملأ حيز الكارتير بالزيت إلى المستوى المعين .
- يصير إدارة الضاغط يدوياً مع فتح المصافى ، ثم يعاد الرباط على جميع الوصلات .
- إدارة الضاغط لمدة عشر دقائق مع فتح المصافى .
- إيقاف الضاغط وتحسس أى ارتفاع فى درجات حرارة الكراسى أو المبردات .
- عند التأكد من سلامة الأمور يمكن إعادة تشغيل الضاغط مع مراجعة التصافى ودرجات الحرارة والضغوط والحمل الكهربى .
- إذا وجدت وسائل التحكم الآلى يجب توصيلها واختبار سلامتها .

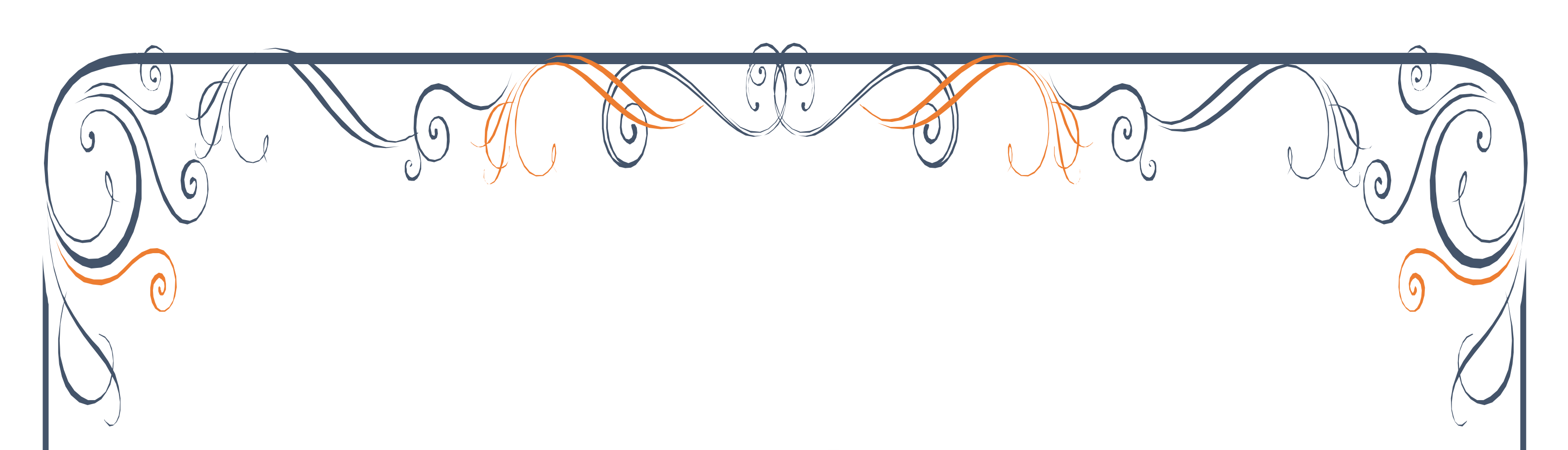
١٢ ـ ٧ الأعطال الشائعة وأسبابها

Faults and their causes

العطل	أســـــــبابه
فشل بدء الحركة Compressor fails to start	-انقطاع التيار -انخفاض الجهد -خطأ فى اتجاه الدوران -وجود مقاومة داخلية للدوران
انخفاض السعة Low output	- اتساخ فلتر السحب -تسريب من حلقات المكبس -تآكل زائد بجلبة الاسطوانه -انسداد فى خط الطرد - عدم احكام الصمامات -تلف او كسر بالصمامات -تسريب بالجنطة بين الرأس والجسم -تسريب بالمصافى أو صمام الأمان أو المبردات



مشاكل الصمامات Valve problems	-عدم تصفية المياه المتكثفة أو الشوائب -ضعف أو زيادة التزييت -ارتفاع درجات الحرارة والضغوط -عدم صلاحية الزيت المستعمل
ارتفاع درجة حرارة هواء الطرد High air discharge - temperature	-ارتفاع ضغط الطرد -اتساخ فلتر السحب -عدم احكام الصمام على قاعدته -انسداد خط الطرد -اتساخ الصمامات -ضعف التبريد
ظهور اهتزازات شديدة Excessive vibrations	-تآكل المحامل -ارتفاع ضغط الطرد -عدم التثبيت الجيد للقاعدة -خطأ في اتجاه الدوران
حدوث ضوضاء Noise	-تآكل المحامل -ارتفاع ضغط الطرد .زيادة أو ضعف التزييت -عدم التثبيت الجيد للقاعدة -تهويش بحلقات المكبس -تآكل زائد بالجلبة -صغر حجم الخلوص -عيوب أو كسر بالصمامات -خطأ فى اتجاه الدوران



١٢ ـ ٨ اسطوانات الهواء

Air-vessels

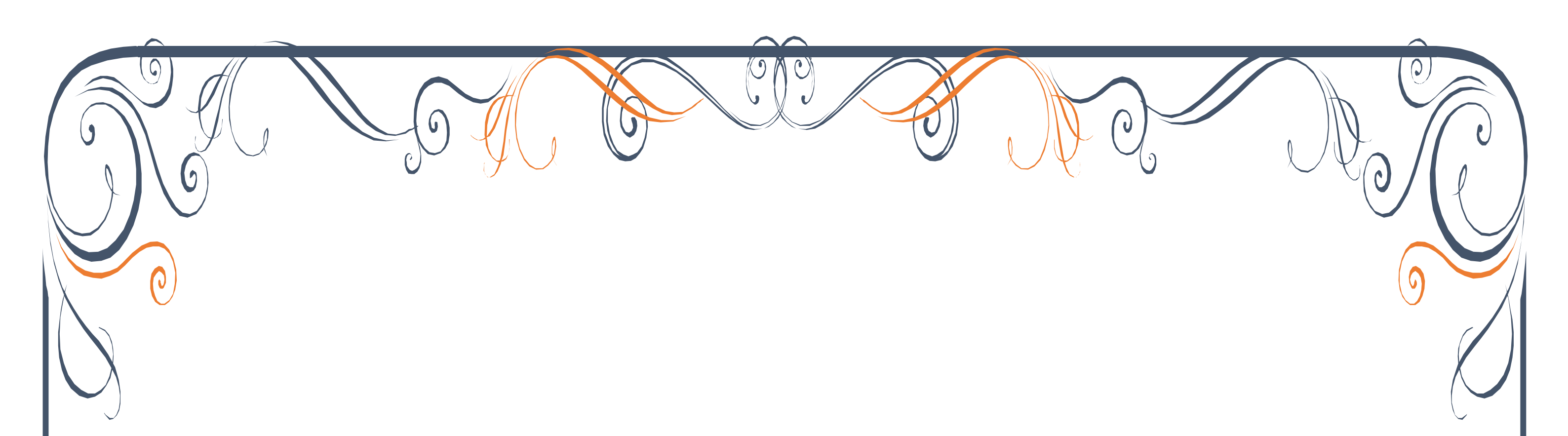
تزود غرف الماكينات باسطوانتين للهواء ، سعتهما تكفى لتقويم المحرك الرئيسى ١٢ مرة على الأقل فى حالة المحركات الانعكاسية ، و ٦ مرات فى حالة المحرك نو الاتجاه الواحد .

تصنع عادة اسطوانات الهواء من نوع جيد من الصلب ، مشابه للمستعمل فى صناعة الغلايات وبنهايات مقعرة ، ويجب أن تكون مطابقة لكل اختبارات أوعية الضغط ، وتزود بحلقات تعويض فى حالة عمل فتحات ، ويجرى عليها المعالجة الحرارية للتخلص من الاجهادات .

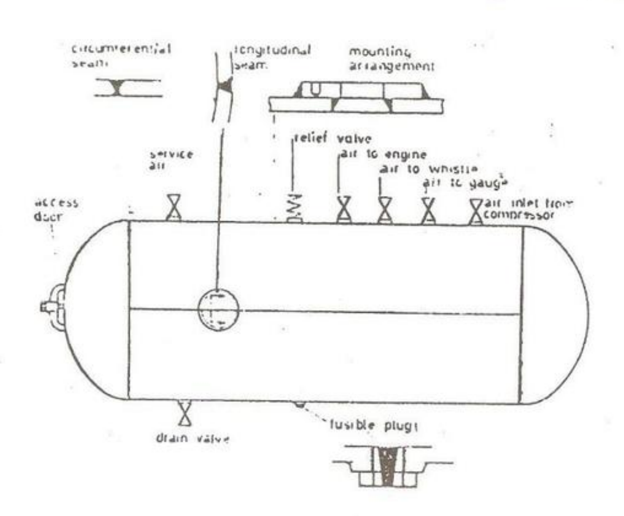
يثبت على اسطوانة الهواء عدة تركيبات Mountings وهى :

Air inlet from compressor	صمام دخول الهواء
Air to engine	صمام خروج الهواء للمحرك
Air to whistle	صمام الهواء للصفاره
Service air	صمام الهواء للخدمة العامة
Pneumatic control system	صمام لمنظومات التحكم
Pressure gauge	جهاز قياس الضغط
Relief-valve	صمام الأمان
Drain valve	صمام التصريف
Fusible-plug	طبة انصهار
Access door	باب الكشف

ويفضل أن يوجد مأخذ واحد من الاسطوانه لتغذية المتطلبات المساعدة . والشكل (١٢ ـ ١٠) يوضح اسطوانه الهواء والتركيبات المثبتة عليها . ودرجة انصهار الطبه هى ١٥٠° م ، ويراعى تصريفها على السطح عند انصهارها فى حالة حدوث حرائق بغرفة الماكينات . ويجب أن يكون صمام التصريف فى أوطى نقطة من الاسطوانة ، كما



يجب أن يكون ذو حجم كاف لعدم الانسداد ، ويراعى أن يكون صمام القطع الرئيسى (صمام خروج الهواء) من النوع بطئ الفتح لتجنب اندفاع الهواء فجأة فى المواسير وزيادة الضغط عليها .

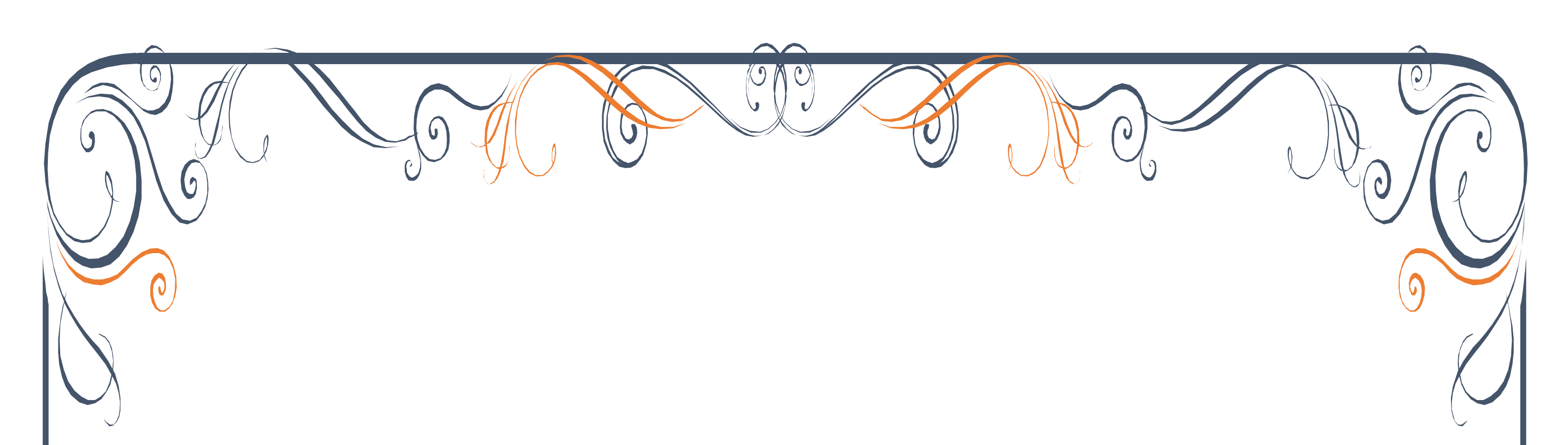


شكل (١٢ ــ ١١)

يتم الكشف الكامل على الاسطوانات دورياً كل معاينة سنوية ، ولذا يلزم تفريغ الاسطوانة والتأكد من فصلها تماماً عن الاسطوانة الأخرى الملاّنة ، وقبل فتح باب الاسطوانة يجب الإحاطة بأنها فارغة تماماً ــ أى عدم وجود مقاومة عند فتح الباب .

وتستخدم الملابس الخاصة والنظارة وضرورة وجود شخص آخر بالخارج على اتصال بالداخل ، ويراعى الآتى :

- أداء النظافة التامة مع الحيطة لعدم دخول أى شئ للوصلات وذلك بطب جميع الفتحات أولاً .
- تحديد أى أماكن يظهر فيها الصدأ ويصير تنظيفه بالفرشاة السلك .
- تجفيف الأسطح تماماً ويتم دهانها بمانع للصدأ دون طبقة الانصهار .
- رفع جميع الطبات ، والتأكد من عدم ترك أى شئ بالاسطوانة .



وقبل إعادة تقفيل الاسطوانة يجب :

- اختبار صلاحية جهاز قياس الضغط .
- سلامة تثبيت التركيبات على قواعدها وجنطة باب الكشف .

يتم تشغيل الضاغط مع فتح جميع المصافى لتنظيف الخطوط من أى مياة أو زيت ثم قفلها واستمرار الملء مع فتح المصافى على فترات منتظمة إلى إتمام الملء ووصول الضغط إلى القيمة المحددة ، بعد ذلك يتم قفل صمام الدخول والتأكد من عدم وجود أى تسريب .

أسـئلة

١. ارسم رسماً تخطيطياً لضاغط هواء ذو مرحلتين ـ وضح تأثير التبريد بين المراحل على كرت العلاقة بين الحجم والضغط .

كيف يتأثر تشغيل الضاغط بما يأتى :

ـ زيادة الخلوص فى الاسطوانة .

ـ انسداد فلتر السحب . ـ تكثيف المياة .

٢. ما هى أسباب وجود الأجزاء التالية على الضاغط :

فلتر السحب ـ المصافى ـ مبرد بين المرحلتين وبعد المرحلة الأخيرة .

٣. أوصف مع الرسم الأنواع المعتادة للمبردات بين مراحل الضاغط ، واذكر آثار تشغيل الضاغط بمبردات غير نظيفة .

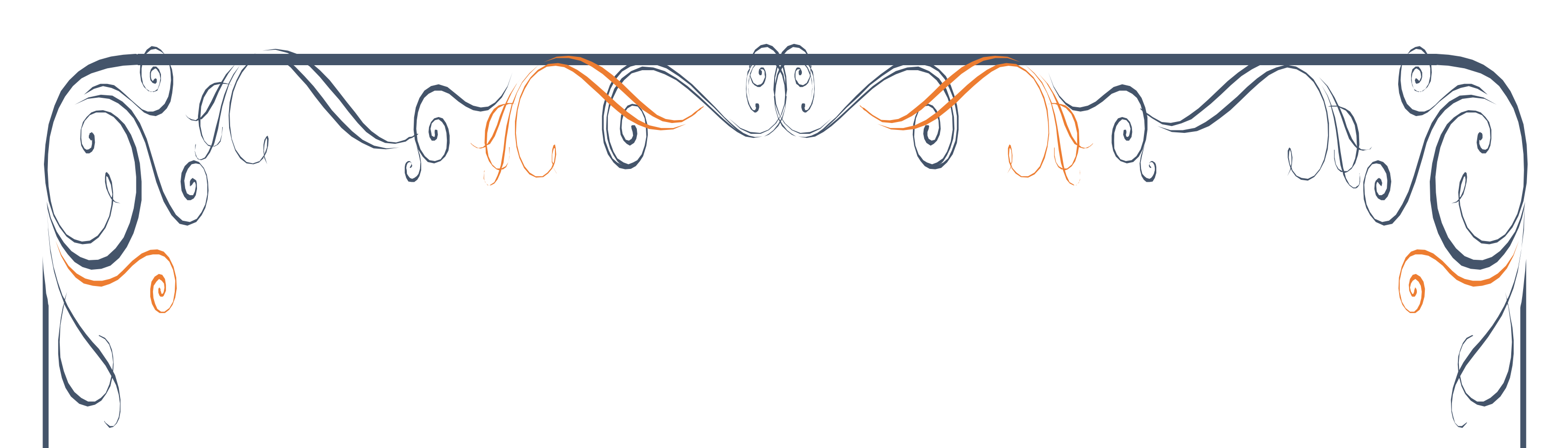
٤. تكلم مع التوضيح بالرسم جهاز يتحكم فى تشغيل الضاغط .

٥. يتعرض الضاغط أثناء التشغيل لبعض الأعطال الشائعة ، تكلم عن ثلاثة أعطال واذكر أسبابها وكيفية معالجتها .

٦. ما تأثير البنود التالية على تشغيل الضاغط :

زيادة الخلوص ـ انسداد الفلتر ـ تسريب بصمام طرد المرحلة الأخيرة .

٧. صف مع الاستعانة بالرسم ضاغط هواء ترددى ذات مرحلتين ، بين درجات الحرارة والضغوط عند النقاط الأساسية ، واذكر العوامل التى لها تأثير عكسى على الكفاءة الحجمية لضاغط الهواء .



٨. ما هى النقاط الأساسية الواجب مراعاتها أثناء تشغيل وصيانة ضاغط هواء تقويم المحرك الديزل الرئيسية . اشرح باختصار كل منها مع توضيح السبب .

٩. أشرح أسباب الأعطال الآتية :

ـ كسر الصمامات ـ عدم إحكام الشنابر ـ ارتفاع درجة حرارة الهواء الخارج عن المعدل ـ فشل تقويم الضاغط ـ ارتفاع درجة حرارة الضاغط .

١٠. بين الأسباب التى تدعو لاتخاذ الإجراءات التالية بالنسبة لضاغط الهواء :

- ضرورة الاحتفاظ بفلتر الهواء نظيف .
- احتياج كل من صمام السحب والطرد عناية دورية .
- الاحتفاظ بخلوصات صحيحة لمحامل عمود المرفق والنهاية الصغرى والنهاية الكبرى لذراع التوصيل .

١١. حدد المطالب التالية بالنسبة لضاغط الهواء :

- ما هى الأجزاء التى تستوجب عناية مستمرة ؟ ولماذا ؟
- لماذا تعتبر خلوصات المحامل الرئيسية ومحامل النهايات الكبرى هامة جداً ومحددة بشكل غير عادى ؟
- لماذا تختل نوابض الصمامات من حين لآخر ؟ وكيف نتبين ذلك عملياً ؟

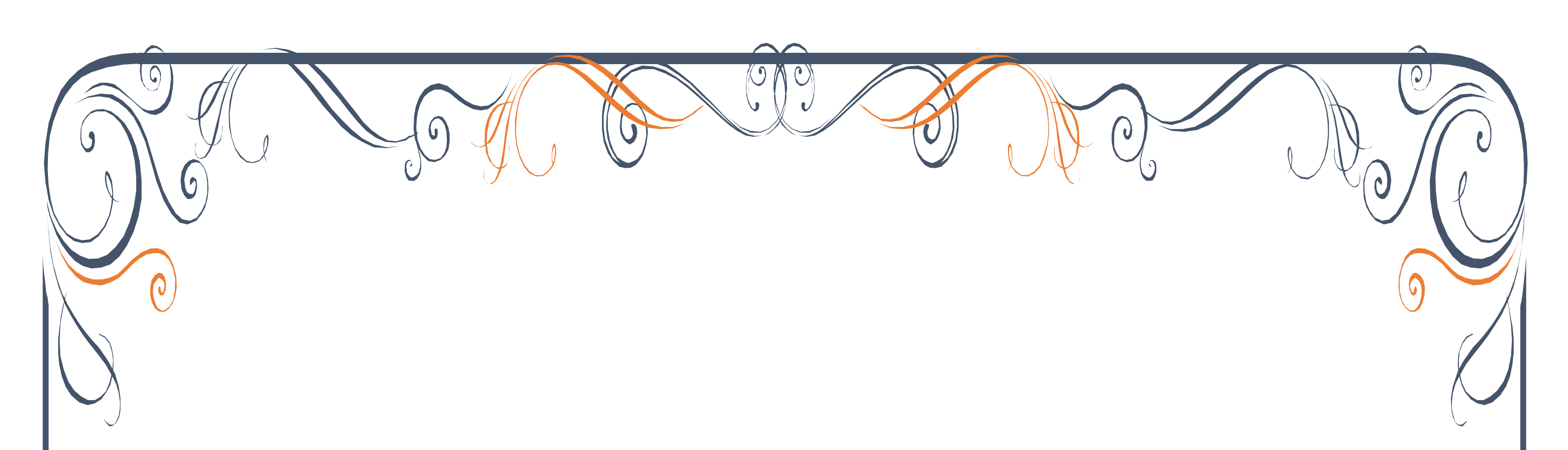
١٢. أذكر ما هى التركيبات الموجودة على اسطوانة الهواء ، وما هو الغرض من وجودها ؟ لماذا من الأهمية العناية بصمامات التصفية ؟

١٣. أ) ما هى العوامل التى تحكم سعة اسطوانات الهواء ؟

ب) ما هى الاحتياطات التى تتخذ عند :

ـ الشحن ـ التفريغ ـ تنظيف الاسطوانة .

ـ وما هى الأعمال التى تتم بواسطة مندوب هيئة التسجيل كل معاينة سنوية ؟



الباب الثالث عشر

سلامة التشغيل Safety during operation

إذا لم يراعى بعض الأمور الهامة فى التشغيل والصيانة قد تتعرض المحركات الديزل لبعض الانفجارات أو الحرائق التى تشكل خطورة عليها وعلى غرف الماكينات والعاملين بها ، ومنها ما هو نادر الحدوث مثل انفجارات صندوق المرفق ، ومنها ما هو كثير الحدوث مثل حرائق حيز الكسح ، ولكن لما لها جميعاً من عواقب خطيرة فيجب أن يلم المهندس البحرى بالأسباب التى تؤدى إلى حدوث كل منها ، ويجب أن يكون دائماً متيقظاً لتلافى أسبابها من البداية .

١٣ ـ ١ انفجارات صندوق المرفق Crank-case explosion

وتعتمد أساساً على شرطين أساسيين هما :

– تكون خليط قابل للاشتعال Explosive mixture

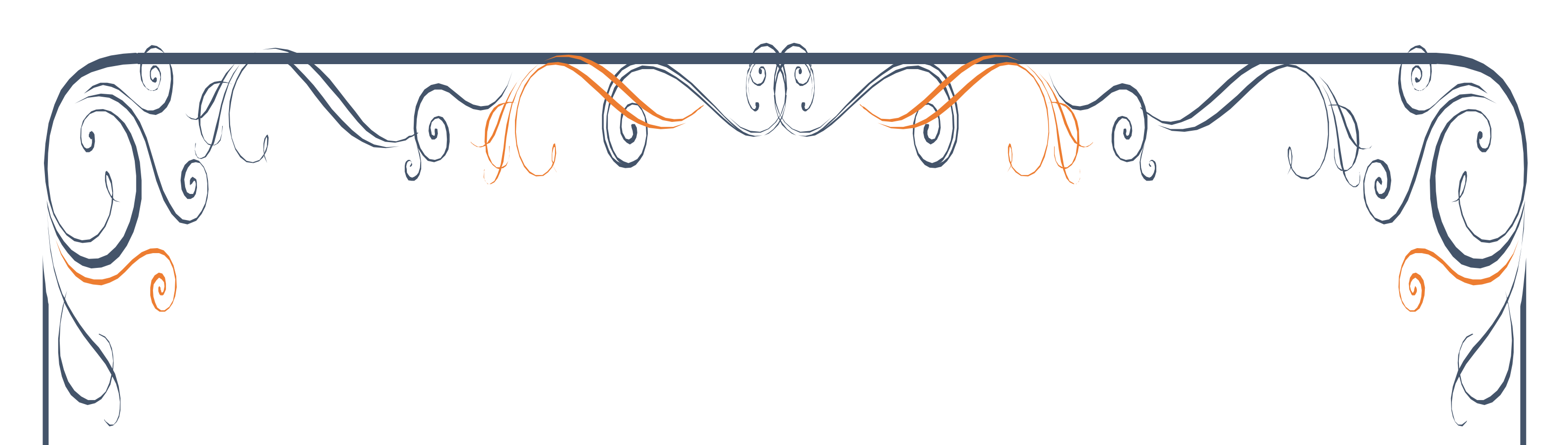
– وسيلة لإشعال ذلك الخليط Means of ignition

وبمنع أحدهما يمكن إلغاء احتمال حدوث الانفجار تماماً .

يحتوى صندوق المرفق على الهواء أولاً فى ظروف التشغيل العادية ، ولكن بارتفاع درجة حرارة الزيت مع الحركة الدورانية المستمرة لعمود المرفق ، تتعلق بالهواء جزئيات الزيت المتطايرة وتكون ضباب Mist تعتمد كثافته أساساً على كمية ودرجة حرارة هذا الزيت ، ويشتعل عند كثافة معينة إذا توافرت وسيلة الإشعال ـ من الملاحظ أن درجة الوميض المقفلة Closed flash-point لزيوت تزييت عمود المرفق تكون مرتفعه (فوق ٢٠٠° م) ويجب الاحتفاظ بها دائماً كذلك ، لتقليل احتمال حدوث مثل هذه الانفجارات ، ويعتبر التلوث بالوقود هو من أهم أسباب انخفاضها .

ويمكن القول بأن النقطة الساخنة Hot-spot هى السبب فى تحويل محتويات صندوق المرفق إلى مخلوط قابل للاشتعال ، كما أنها وسيلة الإشعال Ignition--agent .

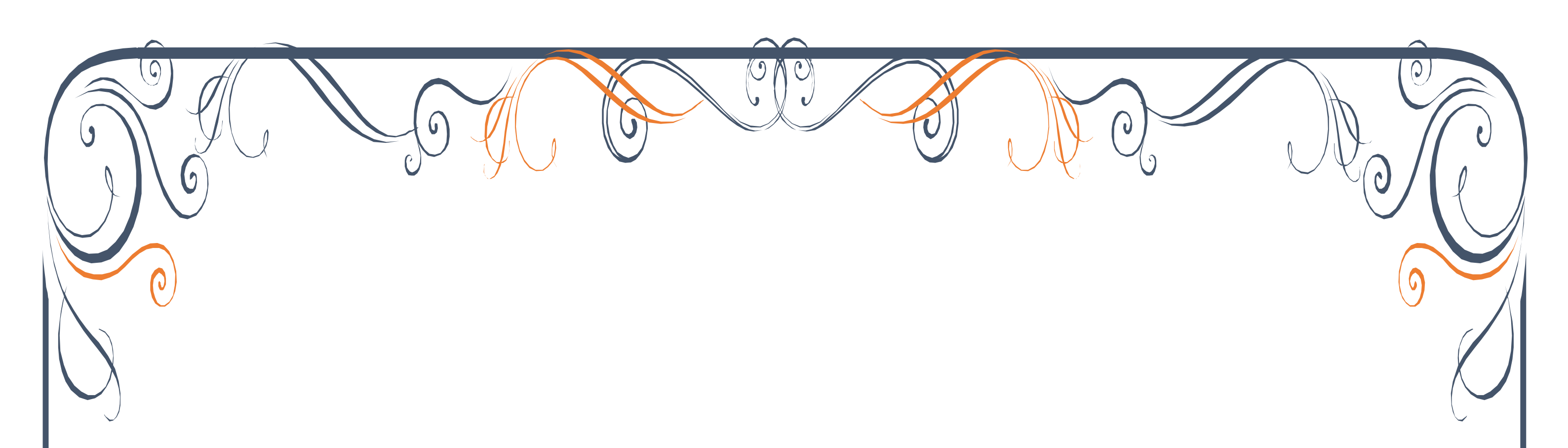
وأسباب ظهور النقطة الساخنة يرجع إلى أحد أو أكثر من الأسباب التالية :

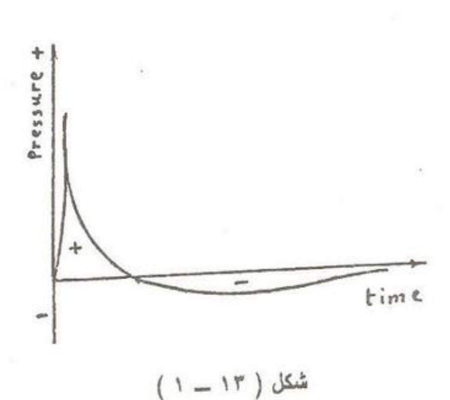


ارتفاع درجة حرارة أحد المحامل أو جلند عمود المكبس أو كتينة التوقيت ، أو تسرب غازات الاحتراق نتيجة تفويت حلقات المكبس والجلبة فى المحركات التى ليس بها فاصل Diaphragm أو وجود حرائق قريبة لحيز صندوق المرفق مثل حيز الكسح (Scavenging-place) . ويمكن تجنب ذلك بالصيانة الدورية ومراعاة التزييت السليم وعدم التشغيل عند الحمل الزائد .

<u>وإذا توافرت أسباب الانفجار فإن ميكانيكية حدوثه تكون كالآتى :</u>

١. إذا توافرت النقطة الساخنة فسوف يتبخر الزيت المحيط بها .
٢. تنتقل الأبخرة المتكونة وتتجه إلى الأماكن الأكثر برودة حيث تتكثف مكونة ضباب أبيض White mist يحتوى على جزيئات دقيقة من الزيت مخلوطة جيداً مع الهواء .
٣. يكون هذا الضباب قابلاً للاشتعال عند درجة تركيز معينة .
٤. عند معاودة هذا الخليط ثانية ومقابلته للنقطة الساخنة ، يشتعل فجأة ويحدث ما يسمى <u>انفجاراً مبدئياً</u> Primary or minor explosion .
٥. يولد هذا الانفجار موجات تضاغطية لها واجهة لهب Flame-front تنتشر خلال صندوق المرفق وتعمل على تبخير جزيئات من الزيت التى تقابلها .
٦. تتزايد هذه الموجات التضاغطية بقدر كاف وتكتسب سرعة بحيث تكون كفيلة بتحطيم أبواب صندوق المرفق ما لم يتم تسريبها من أى مكان مناسب .
٧. يعقب صعود الضغط اللحظى انخفاض فى الضغط ويستمر مدة أطول كما فى الشكل (١٣ ــ ١) قد يعمل على سحب الهواء الجوى إلى داخل صندوق المرفق حيث يختلط مع أبخرة الزيت ويزيد من الاشتعال محدثاً <u>انفجاراً ثانوياً</u> Secondary or major explosion ذات انتشار واسع . وهذا الانفجار يكون من العنف بحيث يمكنه تحطيم كل ما يقابله ومسبباً حرائق فى الأماكن القريبة ويعرض الأفراد للأذى .





شكل (١٣ ــ ١)

١٣ ــ ١ ــ ١ اكتشاف النقطة الساخنة Hot-spot detection

يمكن أن يتحسس مهندس النوبة احتمال وقوع النقطة الساخنة من الآتى :

- ملاحظة خروج دخان أبيض .
- عدم انتظام سرعة دوران المحرك .
- سماع صوت غير عادى صادر من المحرك .
- ارتفاع درجات الحرارة عامة .
- شم رائحة مميزة .

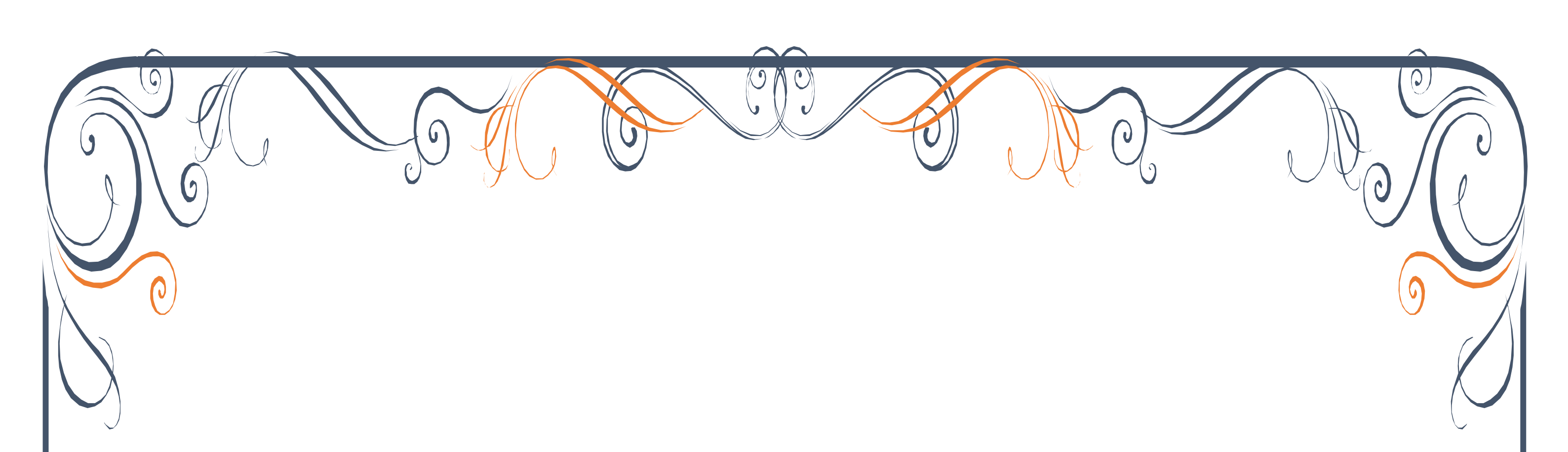
بالإضافة فإن جميع المحركات الحديثة تزود بالأجهزة الوقائية المختلفة لمساعدة مهندس النوبة لمنع حدوث مثل هذه الانفجارات ومنها :

١. صمامات تصريف الضغط من داخل صندوق المرفق

Crank-case explosion relief valves

٢. جهاز اكتشاف الضباب Mist-detector

٣. أجهزة الإحساس والإنذار لدرجات حرارة الكراسى Sensors .



١٣ ـ ١ ـ ٢ الإجراءات الواجب اتخاذها عند اكتشاف النقطة الساخنة

Procedure that should be carried out :

١. تقليل سرعة المحرك وإيقافه فى أقرب فرصة وذلك للسماح للأجزاء الساخنة بأن تبرد .

٢. يجب تشغيل ترس التقليب Turning-gear مع فتح جزرات المبين واستمرار تشغيل التبريد والتزييت وذلك لتفادى قفش الأجزاء الساخنة .

٣. إبعاد الأفراد عن منطقة صمامات التصريف .

٤. يجب عدم فتح أبواب الكارتير إلا بعد برودة الأجزاء وحتى لا يتسبب ذلك فى دخول الهواء وحدوث انفجار شديد .

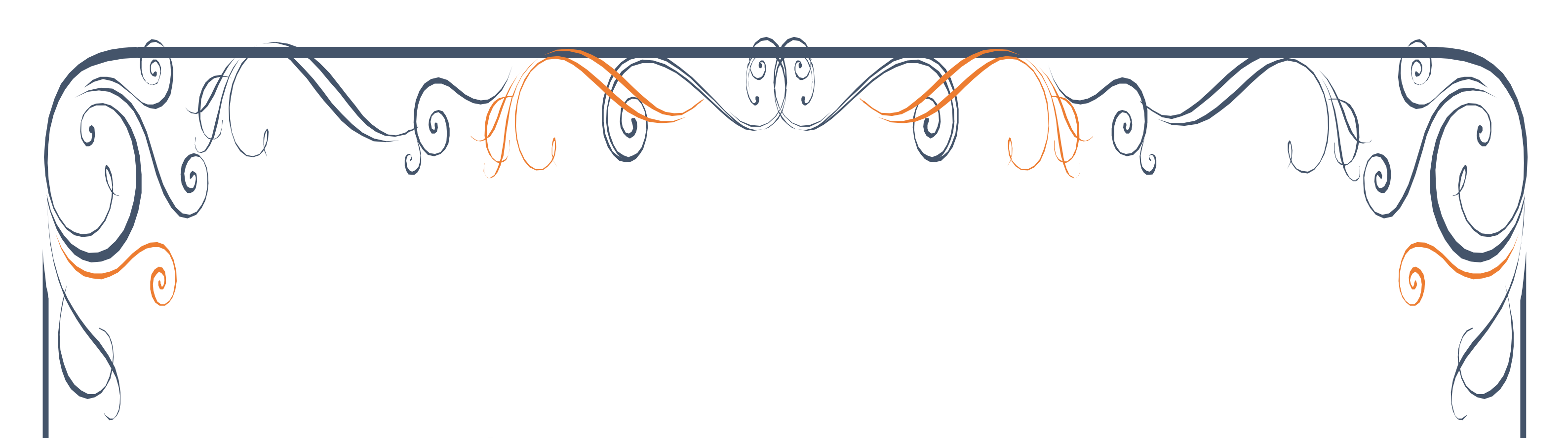
٥. بعد تبريد أجزاء المحرك يمكن فتح الأبواب وعمل الكشف والصيانة والإصلاح المطلوب .

وتوجد بعض الاعتبارات الإنشائية منها :

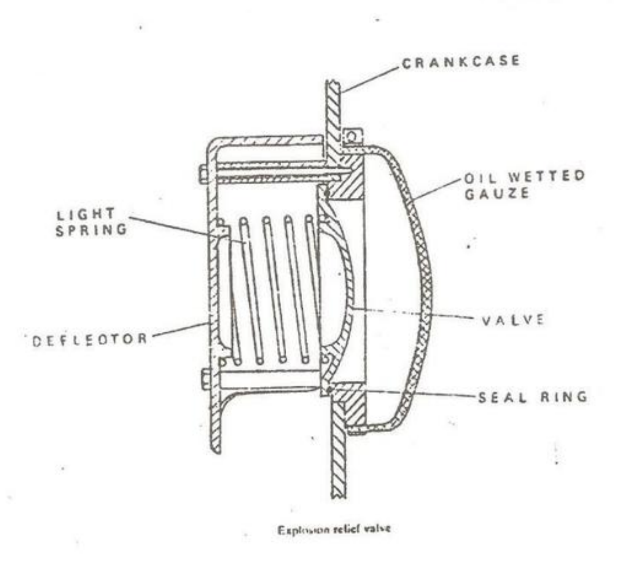
- تقسيم الكارتير إلى قطاعات سوف يمنع من زيادة سرعات وضغوط الموجات التضاغطية .
- يراعى أن تكون أبواب صندوق المرفق بالمتانة الكافية ، لتتحمل الضغط ، وعدم انهيارها قبل فتح صمامات تصريف الضغط .
- تكون ماسورة تهوية صندوق المرفق ذات قطر صغير وتفتح على مكان أمان وتزود بشبكة لتكسير اللهب .
- يمكن توصيل دائرة الغاز الخامل بحيز صندوق المرفق إذا توافر ذلك على السفينة .
- يجب ألا يكون هناك اتصال مشترك بين صندوقى مرفق محركين .
- يجب ان تكون ماسورة تصفية الزيت من الكارتير مغمورة تماماً فى صهريج التصافى .

١٣ ـ ١ ـ ٣ : صمام تصريف الضغط Crankcase relief-valve

يوضح الشكل (١٣ ـ ٢) أحد هذه الصمامات ويتكون من صمام بسيط غير رجاع



يعمل بياى ضعيف ، ويصنع قرص الصمام من سبيكة ألمونيوم لتخفيف الـوزن وليسـاعد على الفتح والغلق السريع ، وعدم وجود العمود يمنع زرجنة الصمام ، ويتم إحكام القرص تماماً بواسطة حلقة من المطاط الخاص الذى يتحمل درجات الحرارة العالية ولا يتأثر بالزيت ويغطى الياى بقرص الصمام فيحميه من الغازات الساخنة .

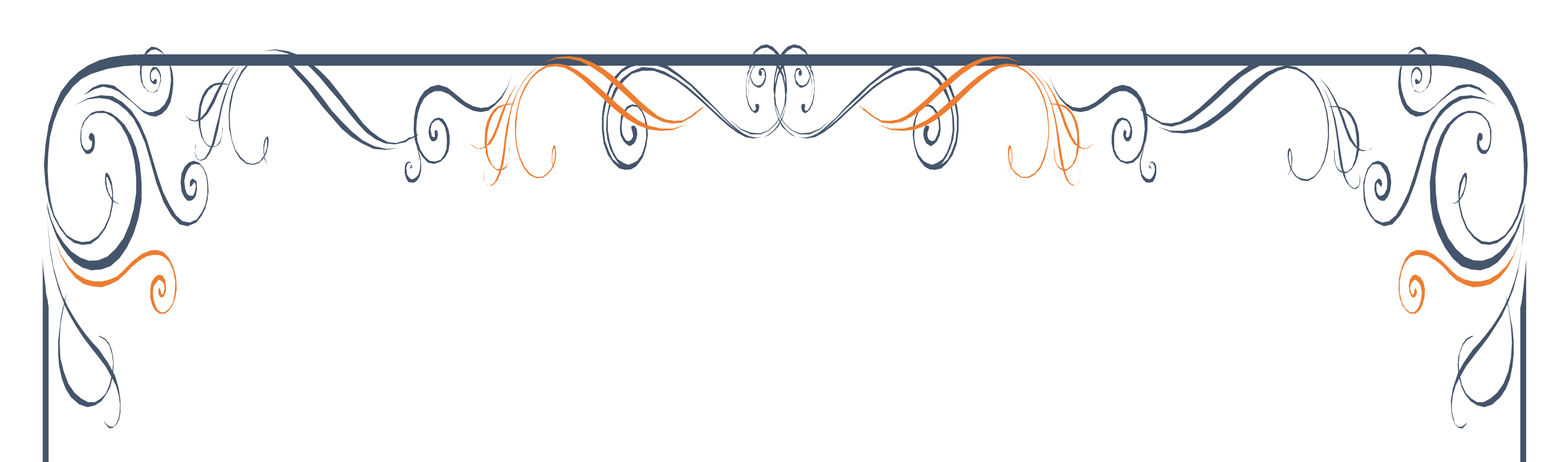


Explosion relief valve

شكل (١٣ ــ ٢)

يزود الصمام من الداخل بغطاء معدنى شبكى Wire-gauze من عدة طبقات يبلل بالزيت ويعمل كمصيدة للهب وتشتيت الحرارة ، ومن الخارج بغطاء معدنى يوجه الغازات إلى أسفل لعدم إصابة الأفراد .

يفتح الصمام عندما يصل الضغط بداخل صندوق المرفق إلى قدر محدد ويقفل تلقائياً عند تصريف الضغط .

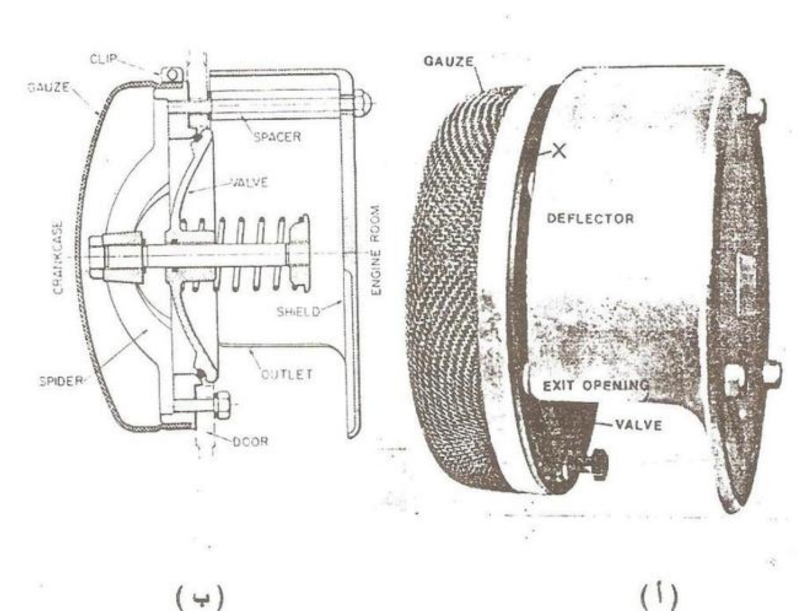


تقضى التعليمات بأن يزود كل وحدة بصمام تصريف الضغط معتمد إذا زاد قطر الاسطوانة عن ٣٠٠مم — إذ أنه لا تقل المساحة الكلية لصمامات تصريف الضغط عن ١١٥ سم^٢ للمتر المكعب من حيز صندوق المرفق ، كما تطبق أيضاً هذه التعليمات على ضواغط الهواء الكبيرة .

وتحتاج هذه الصمامات إلى صيانة بسيطة مثل تنظيف الغطاء المعدنى الشبكى واختبار الياى .

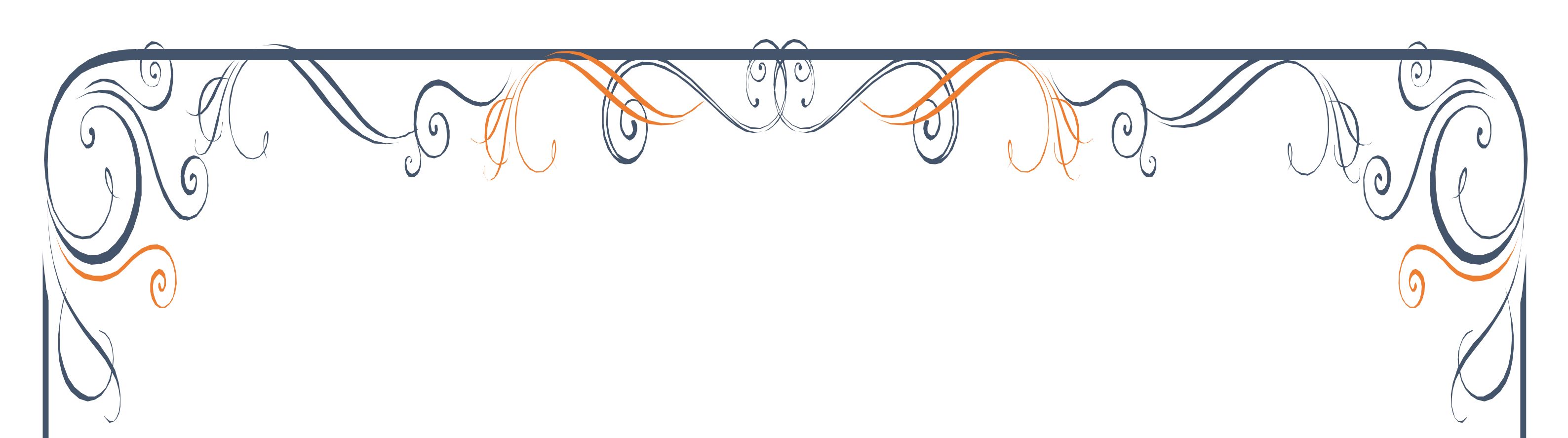
يوضح الشكل (١٣ ــ ٣ أ) صمام تصريف الضغط المصمم بمعرفة British I.C.E. Research Institute والمعتمد من جميع هيئات التسجيل ، وينتج بأربعة مقاسات نمطية ١٠٠ ، ١٥٠ ، ٢٥٠ ، ٣٥٠ مم للقطر .

والشكل (١٣ ــ ب) مقطع يوضح الأجزاء المختلفة .



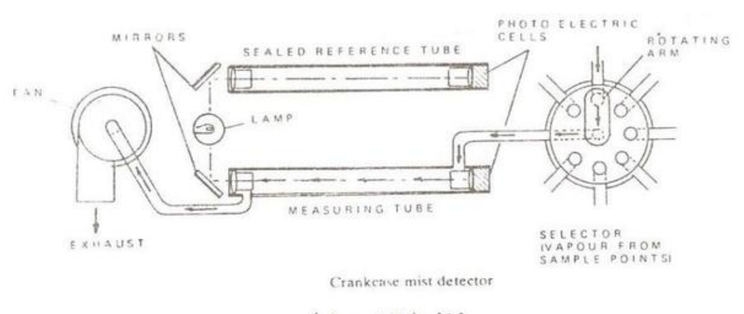
(ب) (أ)

شكل (١٣ ــ ٣)



١٣ ــ ١ ــ ٤ : جهاز اكتشاف الضباب لصندوق المرفق Crankcase oil-mist detector

يوضح الشكل (١٣ ــ ٤) أحد أنواع أجهزة اكتشاف الضباب الذى يمكن توصيله بصندوق مرفق المحرك الديزل . وسوف يكتشف وجود الضباب عند درجة تركيز أقل من ذات الدرجة التى يحدث عندها الانفجار ، أى أنه يعطى الإنذار المبكر لتجنب المخاطر .



Crankcase mist detector

شكل (١٣ ــ ٤)

ويتكون الجهاز أساساً من ماسورتين متوازيتين بحجم متساو وتنتهى كل منهما بخلية كهربية ضوئية Photo-cell حساسة للضوء وتولد تيار كهربى يتناسب مباشرة مع شدة الضوء الساقط عليها .

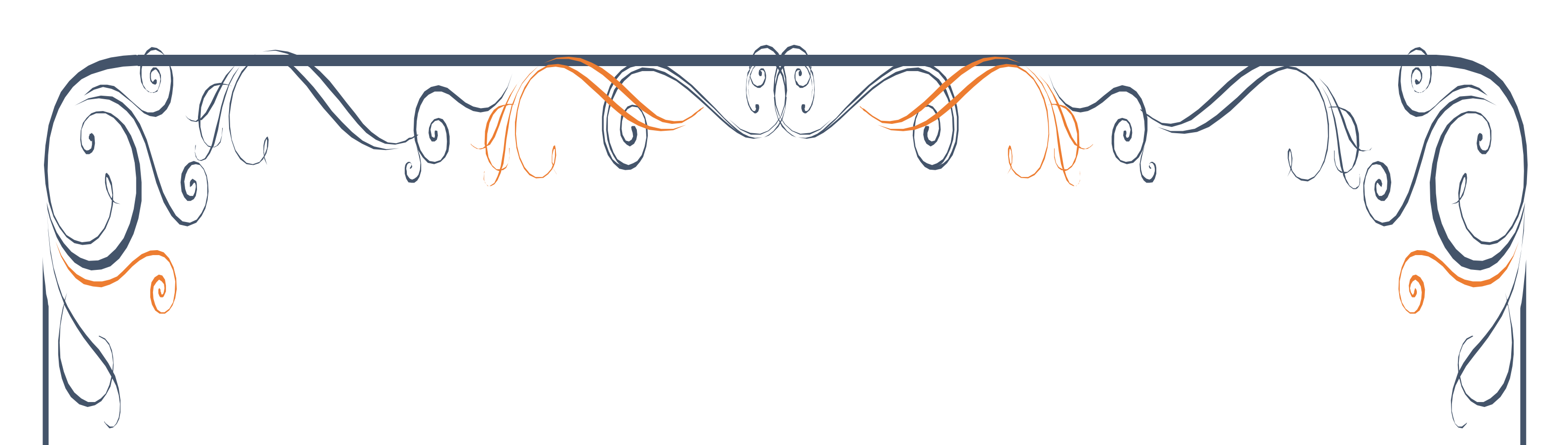
وتحكم كل ماسورة من النهايتين بعدسة ولكن تسمح بمرور شعاع الضوء .

وتوجد لمبة كهربية تلقى ضوءها على مرآتين مثبتتين بزاويتين متساويتين كما فى الشكل،وينعكس كل شعاع ضوئى ليمر فى الماسوره إلى الخليه الضوئيه . إحدى الماسورتين تحتوى على هواء نقى وتسمى المرجع Reference-tube أما الأخرى فتسمى أنبوبة القياس Measuring-tube تتصل بجهاز خاص يدور بموتور مروحة السحب ليسمح بإعطاء عينات متتابعة من الضباب من حيز المرفق لكل اسطوانة .

فى حالة تواجد الضباب بدرجة تركيز معينة أى أقل من ذات التى تحدث الاشتعال الفجائى يخفت الشعاع الضوئى المؤثر على الخلية الضوئية فينعدم الاتزان الكهربى،ويعمل جهاز الإنذار على الفور ويقف الدوار Selector ليحدد النقطة المعينة .

ويجب ألا يزيد طول الوصلة عن ١٢,٥ متر وتكون مائلة لتصفية الزيت (إن وجد) وبدون منحنيات .

ويراعى اختبار صلاحية الجهاز ونظافته يومياً .



١٣ - ٢ حرائق حيز الكسح Scavenge fire

غالباً ما تحدث حرائق حيز الكسح من تراكم زيت تزييت الاسطوانات ، واشتعاله بارتفاع درجة الحرارة نتيجة هروب الغازات الساخنة من حول حلقات المكابس نتيجة زيادة الخلوصات أو زيادة برى القميص .

وقد يزيد احتمال حدوث هذه الحرائق هروب بعض الوقود الذى لم يكتمل احتراقه مع الغازات الهاربة نتيجة الاحتراق الغير صحيح والذى يكون من أسبابه :

عيب فى الحاقن ـ خطأ فى توقيت مضخة الوقود ـ لزوجة الوقود غير مناسبة ـ نقص فى هواء الكسح ـ انسداد جزئى فى طريق العادم ـ انخفاض فى ضغط الانضغاط ـ التحميل الزائد .

١٣ ـ ٢ ـ ١ : الدلائل التى تشير إلى حدوث حرائق حيز الكسح

Indications of scavenge fires

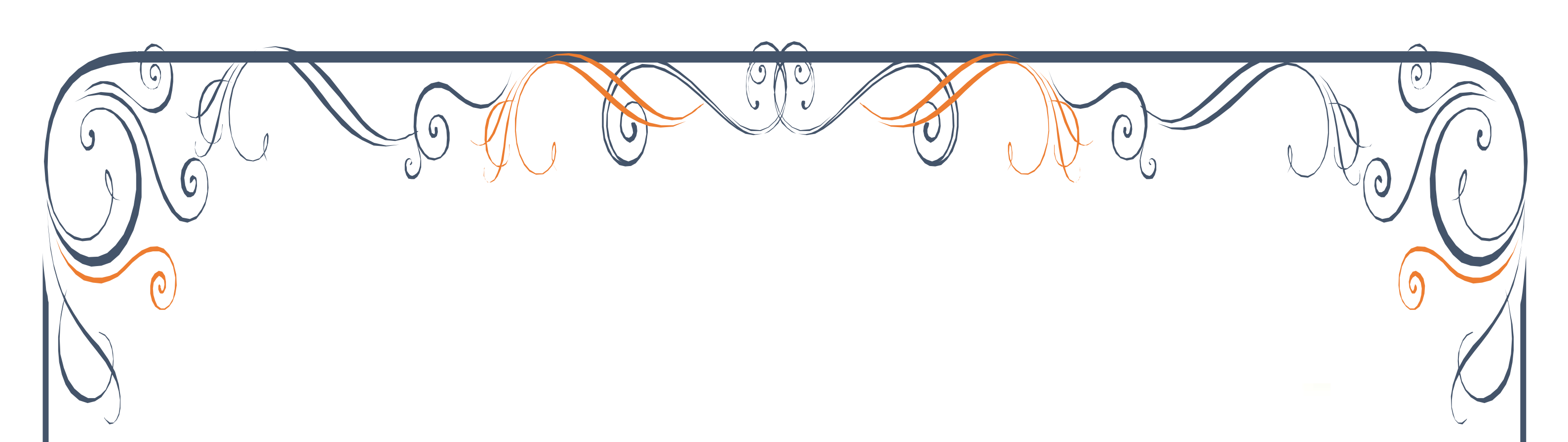
- ظهور دخان أبيض أو شرر من مصافى مجمع الكسح .
- فقد فى القدرة مع عدم انتظام السرعة .
- ارتفاع درجة حرارة عادم وحدة معينة .
- ظهور دخان مع العادم .
- ارتفاع فى درجة حرارة مكان وجود الحريق فى مجمع الكسح .
- نباح الشاحن التوربينى .

١٣ ـ ٢ ـ ٢ : الخطوات التى يجب اتباعها إذا وجد الحريق

Procedure that should be carried out

- تقليل سرعة المحرك .
- قفل الوقود عن الوحدة المواجهة للحريق .
- زيادة تزييت الاسطوانات .
- قفل مصافى مجمع الكسح .

قد يتوقف الحريق بعد وقت قصير إذا كان من النوع البسيط ويمكن تحميل هذه الوحدات بالحمل الجزئى لحين الكشف عليها فى أقرب فرصة .



أما إذا كان هناك خوف من امتداد الحريق أو كان مكان الحريق مجاوراً لصندوق المرفق ويصبح بمثابة نقطة ساخنة قد تؤدى إلى حدوث انفجار به ، فإنه يجب إيقاف المحرك فوراً مع استمرار التبريد لخفض درجة حرارة المناطق الساخنة ، ويراعى تشغيل تروس التقليب لتفادى قفش المكابس ، كما يجب قفل الصمام القلاب Flap-valve على المجمع إن وجد .

ويمكن استخدام وسائل الإطفاء المتصلة بالمجمع وهى إما غاز خامل أو ثانى أكسيد الكربون أو مسحوق البودرة الجاف أو رذاذ البخار .

ويراعى دائماً عدم انتشار اللهب ، ولذا قد يستخدم تبريد السطح الخارجى بالماء ، ويحظر فتح أبواب المجمع وهو ساخن وإلا تعرض لحدوث الانفجار . ويجب إبعاد الأفراد عن صمامات التصريف .

<u>وقبل إعادة التشغيل يجب عمل الآتى :</u>

أ- تنظيف مجمع الهواء وبوابات الحر والعادم جيداً وتسليك المصافى .

ب- الكشف على حلقات المطاط المانعة لتسريب المياة من الجلبة ، وكذلك عمود المكبس وصندوق الحشو المانع للتسرب .

ج-اختبار رباط مسامير الشدادات .

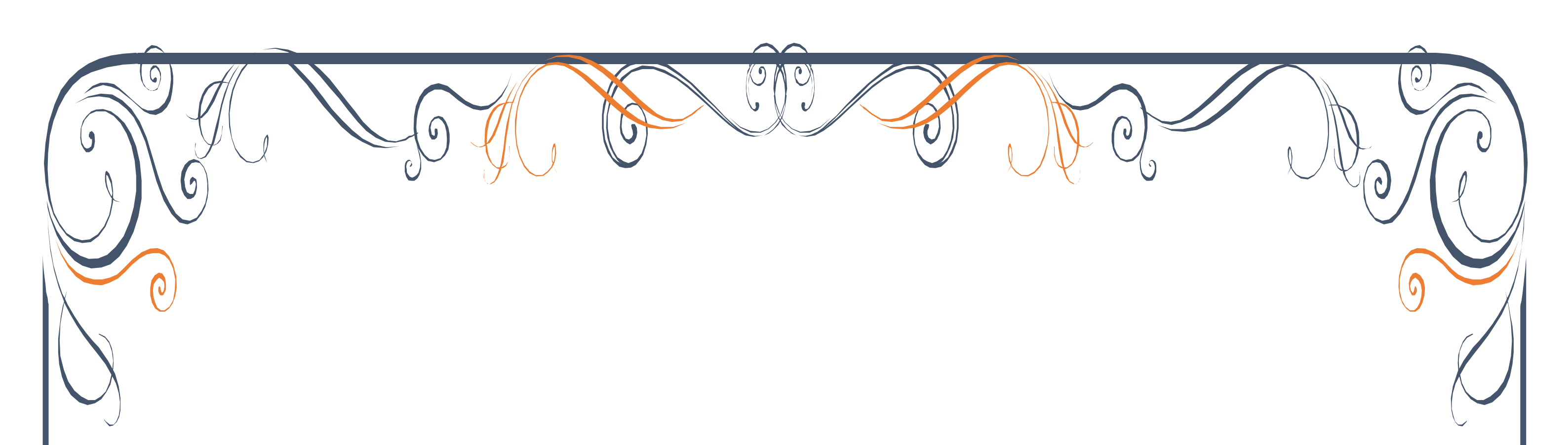
د- إعادة شحن مجموعة الإطفاء التى استخدمت .

ه- إصلاح العيوب التى تسببت فى حدوث الحريق .

<u>١٣ – ٢ – ٣ : الاحتياطات الواجب توافرها لمنع مثل هذه الحرائق</u>

Prevention of scavenge-fires

- ضبط المزايت وكمية الزيت المحقونة للاسطوانه .
- فتح مصافى المجمع دورياً وملاحظة أى زيت يمر بها .
- الكشف الدورى ونظافة مجمع هواء الكسح .
- منع التحميل الزائد على الاسطوانات .
- الاحتفاظ باحكام الشنابر مع القمصان لمنع أى تسرب منها .



١٣ ـ ٢ ـ ٤ : أجهزة الأمان المثبتة على مجمع هواء الكسح

Safety-devices fitted to scavenge trunk

- أجهزة إنذار كهربية تعطى إشارة عند ارتفاع درجة حرارة أى مكان فى المجمع عن (٢٠٠°م مثلاً) Heat sensors .
- صمامات تصريف تفتح عند زيادة الضغط وتقفل آلياً .
- منظومة الإطفاء (ثانى أكسيد الكربون أو البودرة أو البخار) .

ويجب اختبار هذه الأجهزة باستمرار للتأكد من صلاحيتها ونظافتها .. هذا مع الحرص لعدم انتشار الحرائق إلى الأماكن المحيطة بمراعاة النظافة التامة .

١٢ ـ ٣ الانفجارات فى ماسورة هواء بدء الحركة لمحرك ديزل

Explosions in the starting-air pipe lines

قد تحدث هذه الانفجارات من جانب المحرك أو من جانب الضاغط .

أولاً : من جانب المحرك ويكون من أهم أسبابه :

وجود تفويت فى أحد صمامات هواء بدء الحركة على الاسطوانة أو زرجنته على الفتح أثناء المناورة . ويمكن تفسير ذلك بالآتى :

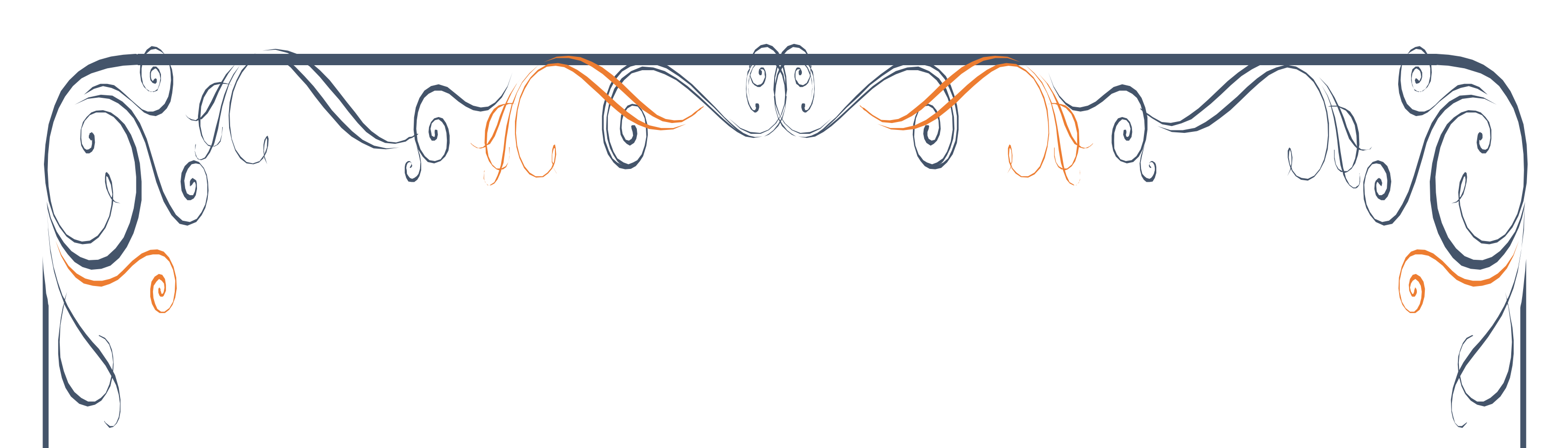
١. فى ظروف التشغيل العادية ربما يخرج بعض الزيت من الضاغط مع الهواء إلى منظومة هواء التقويم ، ويكون مصدره زيت التزييت الهارب من خلال حلقات المكبس الغير حاكمة ، أو هواء غرفة الماكينات الملوث بالزيت .

ويترسب الزيت على هيئة طبقة رقيقة جداً على سطح المواسير الداخلى ولكنها غير جاهزة للاحتراق .

ويمكن تقليله بتصفيته تماماً من مبرد المرحلة الأخيرة والاسطوانة والمنظومة .

٢. إذا حدث وكان هناك تفويت من أحد صمامات هواء بدء الحركة فإن جزءاً من نواتج الاحتراق قد يهرب ويدخل إلى الماسورة المجاورة له ، وباستمرار تسرب هذه الغازات مع وجود طبقة الزيت فإنها تتكربن وتتحول إلى كربون متوهج Incandescent-carbon .

٣. وبفتح هواء بدء الحركة لإعادة تقويم المحرك ومواسير المنظومة ساخنة ، ربما



يؤدى إلى حريق وانفجار حيث يتصل الهواء ذات الضغط العالى مع الكربون المتوهج وطبقة الزيت الموجودة .

وتسبب مثل هذه الانفجارات لهباً يمتد بسرعة إلى الخلف خلال مواسير المنظومة مبخراً طبقة الزيت وتشعله فى حالة وجود الهواء ، وتتولد الموجات التضاغطية ذات السرعات العالية التى تسبب تحطيم المواسير والتركيبات التى عليها .

١٣ – ٣ – ١ الاحتياطات لتجنب مثل هذه الانفجارات Precautions

- يجب عمل الصيانة الدورية لصمامات بدء الحركة وتزييتها وتليينها لضمان حرية الحركة وتوقيت الفتح والقفل السليم .
- يجب تقليل تواجد الزيت داخل مواسير المنظومة بقدر الإمكان وذلك بالتصفية الدائمة والصيانة الدورية لشنابر الضاغط وضبط مستوى الزيت بالضاغط .
- تزود منظومة هواء بدء الحركة بأجهزة الأمان مثل صمامات تصريف الضغط Relief - valves وأقراص الانفجار Bursting - discs ومصايد اللهبFlame-traps على كل ماسورة متصلة باسطوانة ، كما يوجد صمام غير رجاع على خارج اسطوانة الهواء .

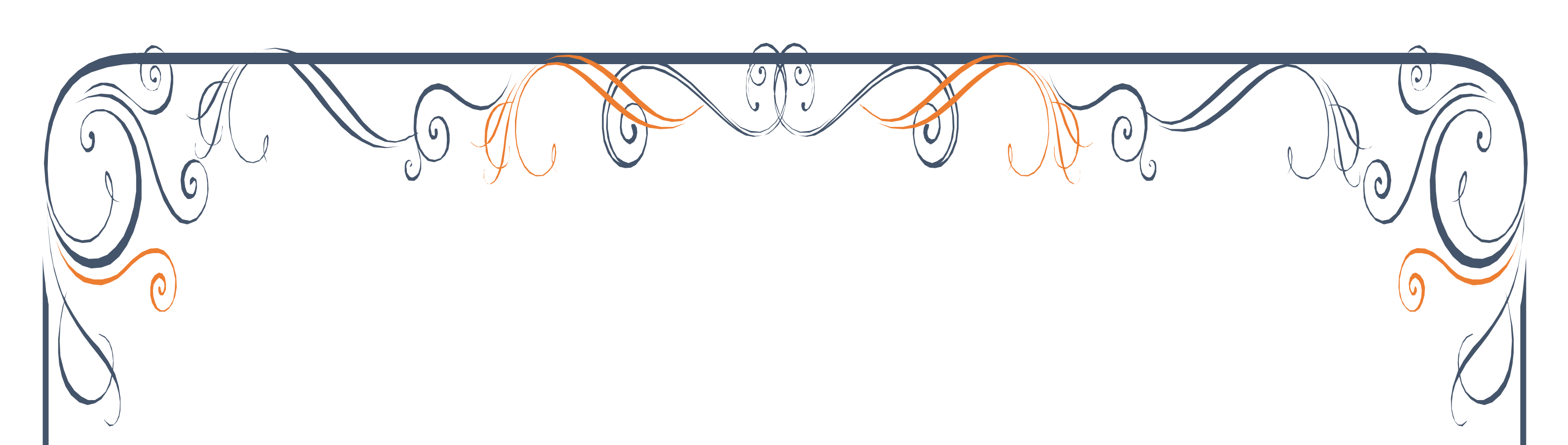
١٣ – ٣ – ٢ : إكتشاف العيب : Detection

ويمكن تحديد صمام هواء بدء الحركة الذى به تسريب عن طريق جس ماسورة الهواء المتصلة به ، والتى تكون درجة حرارتها مرتفعة عن المواسير الأخرى .

وفى حالة اكتشاف ذلك فإنه تجرى محاولة تليين وتحريك عمود الصمام ، وإذا فشلت هذه المحاولة فيجب إيقاف المحرك فى اقرب فرصة وتغيير الصمام فى الحال . وفى حالة عدم وجود صمام يمكن طبه بقرص لعزله بفلانجه عمياء Blank - flange ولكن يجب أن يكون معلوماً أن ذلك قد يؤدى إلى بعض الصعوبات عند تقويم المحرك فلذا يجب إخطار غرفة القيادة .

بالإضافة يجب مراعاة الآتى :

- قفل صمام الهواء على الاسطوانة بعد الانتهاء من عمل المناورة وفتح المصافى



- تزييت وتليين صمامات هواء بدء الحركة قبل الرحلة وأثنائها .
- اختبار إحكام صمامات الهواء أثناء التواجد بالميناء .

ثانياً : من جانب الضاغط (الوصلة بين الضاغط واسطوانة الهواء) :

ويكون من أهم أسبابه :

ارتفاع درجة حرارة الهواء الخارج من الضاغط نتيجة تلف مبرد المرحلة الأخيرة aftercooler أو عدم إحكام صمام طرد المرحلة الأخيرة ، ويعمل على كربنة طبقة الزيت واشتعالها .

ويمكن اكتشاف ارتفاع درجة حرارة الهواء الخارج بواسطة ظهور دخان أو الإنذار أو انصهار الطبة المخصصة Fusible-plug عند ١٢٠°م (إن وجدت) .

بالإضافة قد ترتفع درجة حرارة الرواسب الكربونية المتكونة على صمامات الضاغط وتصبح كمصدر إشعال لخليط الزيت والهواء بماسورة الطرد مما يؤدى إلى حدوث الحرائق والانفجارات فى دائرة هواء التقويم عند اتصالها بالضاغط .

١٣ ـ ٤ ظهور دخان أسود فى العادم

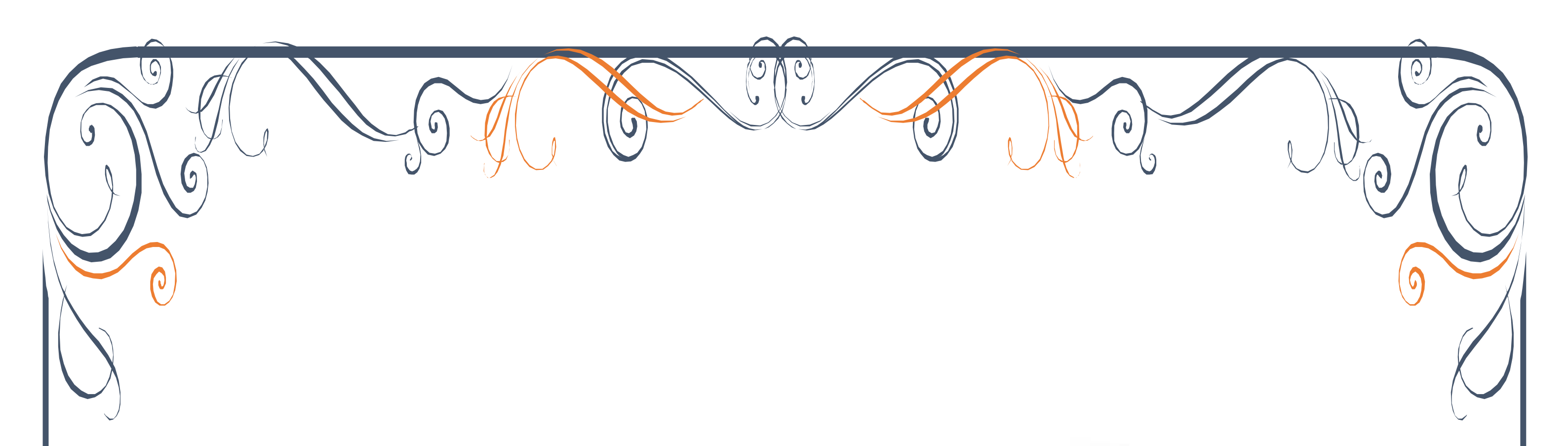
Black-smoke in exhaust

هذا يعنى أن الاحتراق غير كامل ، وعليه يجب التأكد من أن هذا قد يحدث فى اسطوانة واحدة أو من جميع الوحدات .

وعليه يتم قفل الوقود بالتناوب على كل اسطوانه وملاحظة العادم ، هذا فى حالة عدم وجود جزرة اختبار على ماسورة العادم الخارجة من كل اسطوانه ، أما إذا وجدت فيمكن تحديدها بأخذ عينة على خرقة مبللة .

أولاً : ظهور دخان من اسطوانة واحدة : وتكون أسبابه :

- عيب بالحاقن : تسييل او ضعف الياى .
- عيب بمضخة الوقود بسبب توقيت خاطئ ، تآكل بكامة الوقود أو وضع خاطئ لها .



- انخفاض ضغط الانضغاط بهذه الوحدة نظراً لوجود تسريب أو نقص كمية الهواء بسبب انسداد بوابات الكسح . ويمكن تشخيص العيب من درجة حـــرارة العـــادم أوالكرت البيانى .

<u>ثانياً : ظهور دخان من جميع الوحدات :</u>

ويكون أسبابه من عامل مشترك مثل الوقود أو الهواء ، وعليه يجب مراجعة درجـــة حرارة تسخين الوقود أو اللزوجة ، أما نقص الهواء فيكون من نقص كفـــاءة الشـــاحن أو وجود ضغط خلفى لخروج العادم .

<u>ملحوظــــــة :</u>

- ربما يظهر الدخان لوقت قصير عند زيادة السرعة فجأة ، بسبب عــدم تجـــاوب الشاحن مع زيادة السرعة أو نتيجة حريق بحيز الكسح .
- ربما يظهر لهب من المدخنة نظراً لوجود كربون غير محترق .
- فى حالة المحركات الجزعيه ، ربما يكون سبب الـــدخان هـــروب الزيـــت إلـــى صمامات العادم .

أســـــئلة

١. بالنسبة لحريق مجمع هواء الكسح وضح ما يلى :
أسباب حدوث الحريق – كيف يمكن معالجة هذا الحريق وتجنب حدوثه .

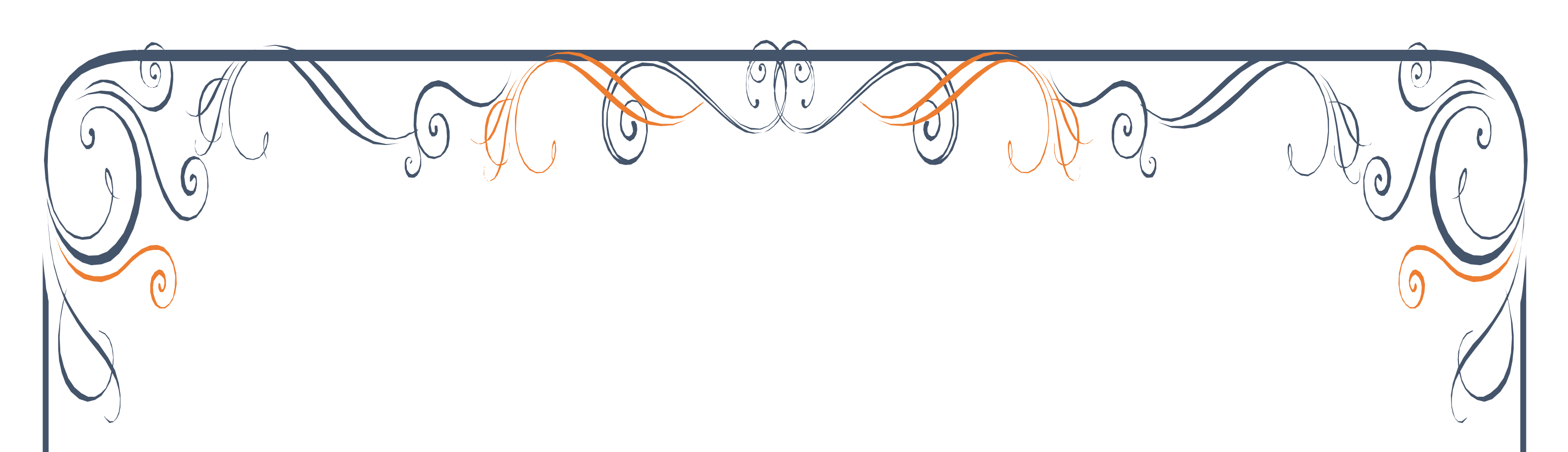
٢. أذكر أسباب الانفجارات فى صندوق المرفق ، وما هى الاحتياطات الواجب اتخاذها فى الميناء وأثناء الإبحار لتقليل احتمال بدء مثل هذه الحوادث .
صف مع الرسم أحد صمامات تصريف الضغط المعتمدة من هيئات التسجيل وطريقـة التشغيل .

٣. ناقش الأسباب المؤدية إلى :
أ) حريق حيز الكسح للمحرك الديزل .
ب) حريق فى ماسورة العادم للمحرك الديزل المساعد .
تكلم عن الطرق الواجب إتباعها لتقليل حدوث مثل هذه الحرائق .

٤. وضح أسباب حدوث انفجار منظومة هواء تقويم محركات الديزل وكيف يمكـن منـع حدوثه .

٥. أشرح أسباب حدوث الحرائق فى فراغات الكسح ، وبين كيف يـتم التصـرف عنـد حدوثها ، وما هى الخطوات التى تتخذ قبل إعادة تشغيل المحرك .

٦. أ) ما هى الوسائل المستخدمة لمنع حدوث انفجارات صندوق المرفق .
ب) صف مع الرسم جهاز اكتشاف الضباب ووضح طريقة عمله .



الباب الرابع عشر

محركات الديزل البحرية متوسطة السرعة

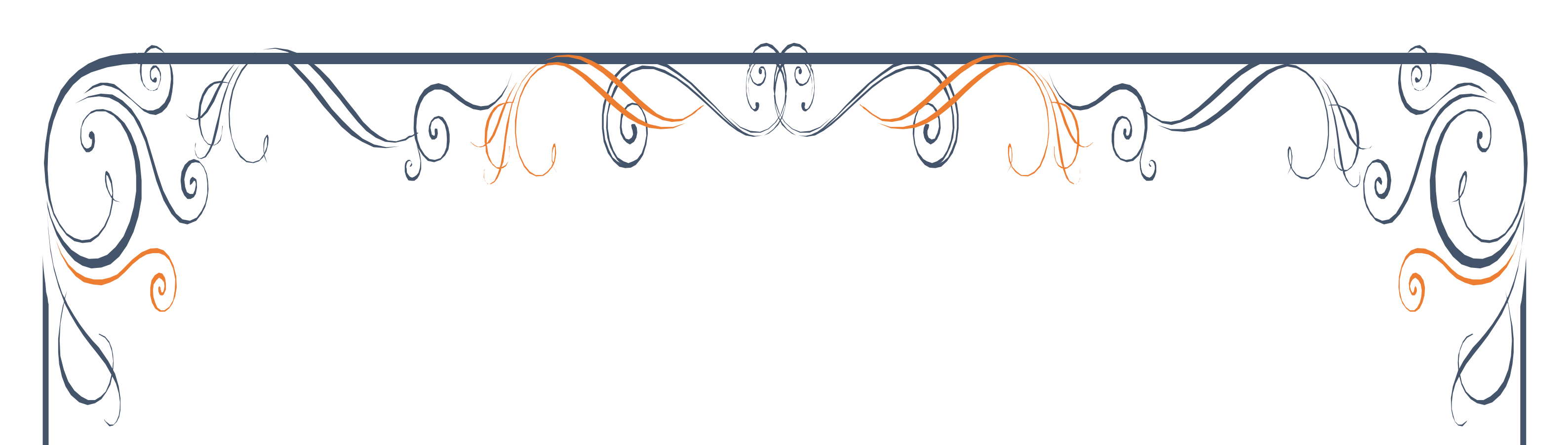
Marine medium speed diesel engines

١٤ـ١ مقدمـــــة Introduction

لقد استخدمت المحركات الديزل متوسطة السرعة منذ سنوات عديدة كـآلات مساعدة لتشغيل المولدات الكهربائية أو المضخات ، وكذلك لتوليد القوة المحركة لبعض السفن الخاصة مثل سفن الصيد ، والسفن الساحلية والحفارات والقاطرات . ولكن في الوقت الحاضر استخدمت فى العديد من السفن مثل ناقلات البترول وسفن الحاويات وسفن البضاعة والتى تزيد حمولتها عن ٣٠٠٠٠ طن ، حيث ارتفعت قدرة الاسطوانة الواحدة فى هذا النوع من المحركات إلى ما يزيد عن ٢٠٠٠ كيلووات وقدرة المحرك الواحد إلى ما يزيد عن ٣٦٠٠٠ كيلووات . ونظراً لصغر حجم هذه المحركات أمكن تثبيت محركين أو ثلاثة أو أربعة على مجموعة تروس تخفيض ، وقد قل الحيز المطلوب لجميع هذه المحركات مع مجموعة التروس عن الحيز اللازم لمحرك كبير بطئ السرعة له نفس القدرة الكلية ، وفى الوقت نفسه فإنها أقل وزناً ــ وعليه فإن الوفر فى الوزن والحجم كان من أهم الأسباب التى شدت الانتباه إليها .

ونظراً للثقة التى حازتها المحركات المتوسطة السرعة فى التشغيل وإمكانية احتراق الوقود الثقيل ، فضلت المحطة التى تتكون من أكثر من محرك متوسط السرعة فى توفير القدرة المحركة للسفينة ، وباستخدام الرفاص المتغير الخطوة والمولدات المناسبة أمكن كذلك توليد الكهرباء منها . كما أن هذه المحطة تعتبر أكثر مرونة حيث يمكن تشغيل محرك واحد لإعطاء الطاقة الكهربية فى حالة عدم الاحتياج لقوة دافعة .

والنظرة الاقتصادية لاستخدام المحركات المتوسطة السرعة كقوة محركة للسفن يمكن إيضاحها بعمل المقارنات التالية :



أولاً : التكلفة الابتدائية : The capital charge

وتشتمل ثمن المحركات ومجموعة تروس التخفيض ، وتعتبر فـى حالـة المحركـات المتوسطة السرعة أرخص وخاصة بالنسبة للقدرات الصغيرة .

ويجب الأخذ فى الاعتبار الوفر فى الحيز الناتج من صغر حجم ووزن هذه المحركـات ، وهذا الوفر له قيمة كبيرة فى بعض أنواع السفن مثل سفن الحاويات .

ثانياً : ثمن الوقود المستهلك : Fuel costs

ويعتبر مساوى تقريباً فى كل من المحركات الديزل المتوسطة السرعة والبطيئة وذلك باستخدام نفس الوقود الثقيل وتقارب الكفاءة الحرارية .

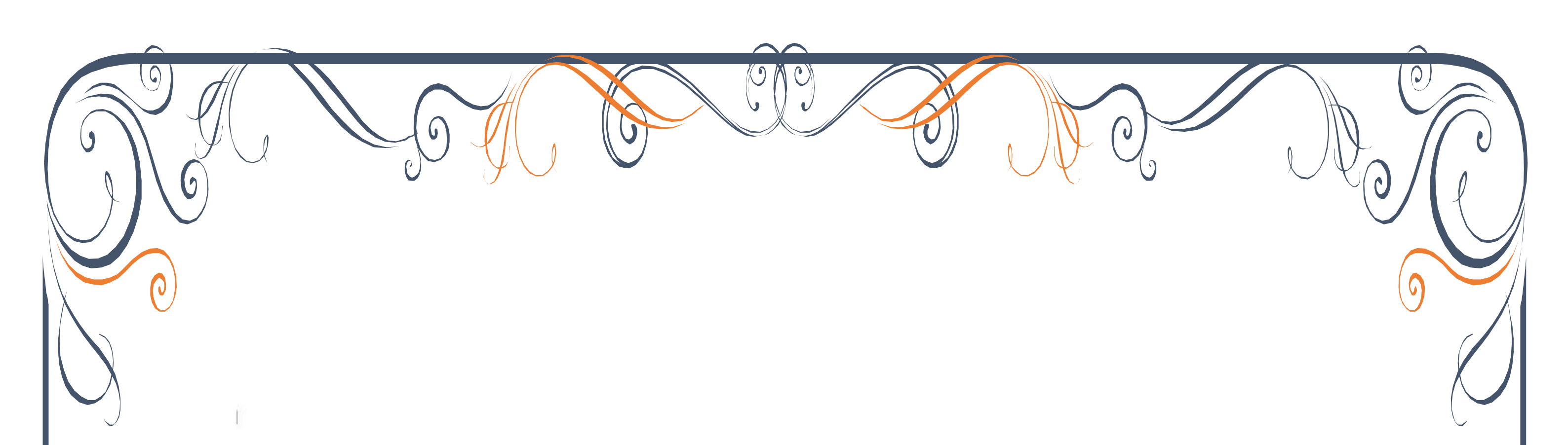
والفقد فى الكفاءة الميكانيكية باستخدام مجموعة التـروس (حـوالى ٢%) يمكـن تعويضه بالحصول على كفاءة أعلى بالنسبة للرفاص حيث يمكن اختيار أنسب السرعات التى تعطى أعلى دفع للرفاص .

أما بالمقارنة بالتربينات البخارية والغازية نجد أن معدلات استهلاكها أكبر بكثيـر مـن معدلات الاستهلاك بالنسبة لمحركات الديزل .

ثالثاً : تكلفة الصيانة : The maintenance costs

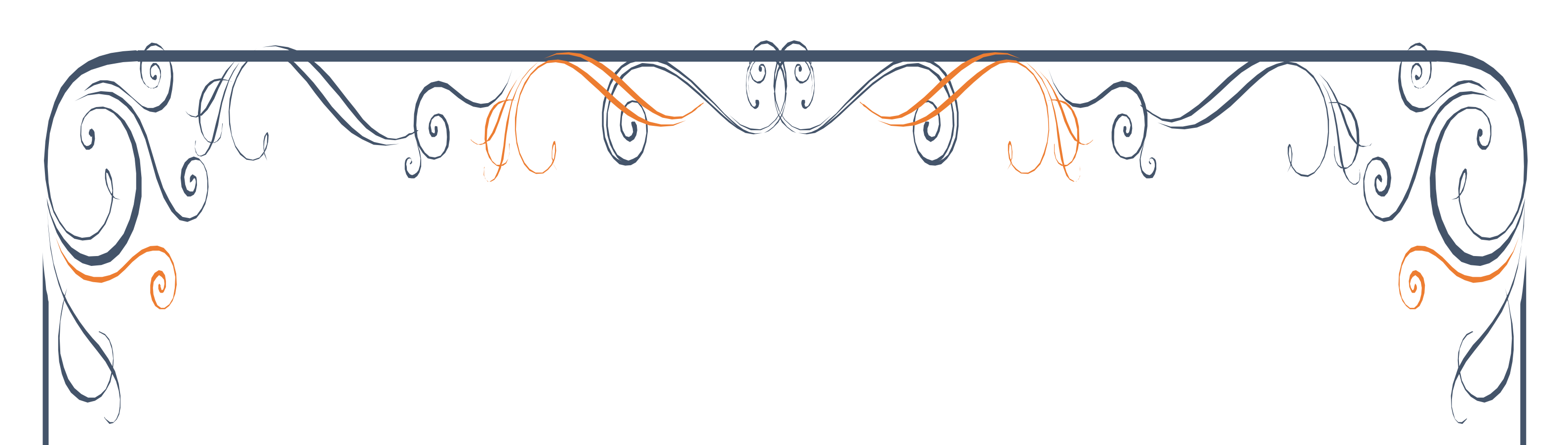
دلت الخبرة أن تكلفة الصيانة (قطع الغيار – مصاريف الإصلاح) تقل فى المحركـات الديزل المتوسطة السرعة عنها فى المحركات البطيئة .

والجدول التالى يعطى نظرة عامة عن دراسة تمت للتكلفة الكلية لسـفينتين للبضـاعة متشابهتين كل ذات حمولة ٢٦٠٠٠ طن وسرعة ١٥ عقدة . أحدهما مزودة بمحرك ديـزل بطئ ذات قدرة ١٢٠٠٠ حصان متصل مباشرة بالرفاص – والأخرى مزودة بمحركين ديزل متوسط السرعة مجموع قدرتيهما ١٢٠٠٠ حصان متصلين بعمود رفاص واحد عن طريق مجموعة تروس .



البنـــــــد	محرك واحد قدرته ١٢٠٠٠ حصان	عدد ٢ محرك متوسطة السرعة كل ذات قدرة ٦٠٠٠ حصان
<u>استثمارى</u>	دولار أمريكى	دولار أمريكي
▪ الماكينة الرئيسية وتروس نقل الحركة والرفاص وعموده .	٢,٥٠٠,٠٠٠	٢,٠٩٠,٠٠٠
▪ مصاريف التركيب	١,٢٠٠,٠٠٠	٩٣٥,٠٠٠
▪ ثمن السفينة بدون محركات	١٢,٨٠٠,٠٠٠	١٢,٨٠٠,٠٠٠
▪ التكلفة الإنشائية للسفينة	١٦,٥٠٠,٠٠٠	١٥,٨٢٥,٠٠٠
<u>المصاريف السنوية</u>		
▪ استهلاك ١٥%	٢,٤٧٥,٠٠٠	٢,٣٧٥,٠٠٠
▪ وقود	١,٣٦٥,٠٠٠	١,٣٣٠,٠٠٠
▪ زيوت	٣٠,٠٠٠	٤٢,٥٠٠
▪ صيانة المحركات	٨٥,٠٠٠	٩٥,٠٠٠
▪ الأجـــور + صـــيانة البـــدن + مصاريف أخرى	١,٠١٠,٠٠٠	١,٠١٠,٠٠٠
▪ مصاريف التشغيل	٤,٩٦٥,٠٠٠	٤,٨٥٢,٥٠٠
<u>سعة الشحنة</u>		
▪ الحمولة الوزنية	٢٥,٧٠٠	٢٥,٩٣٥
▪ الأطنان × المسافة ميل	$١٠^{٦}$×٢,٢٦٧	$١٠^{٦}$ × ٢,٣١١
▪ صـــــافى الربح لكل $١٠^{٦}$ طن / ميل	٣٢٩	٤١٩
▪ الربح السنوى	٧٤٤,٧٥٠	٩٦٧,٢٥٠
▪ زيادة الربح باستخدام محركين موسطين للسرعة		٢٢٢,٥٠٠

وعليه يتضح أن الوفر السنوى للسفينة المزودة بالمحركين المتوسطين الســـرعة هــو حوالى ٢٢٠,٠٠٠ دولار أمريكى ، هذا بالإضافة إلى مزايا عديدة أخرى .

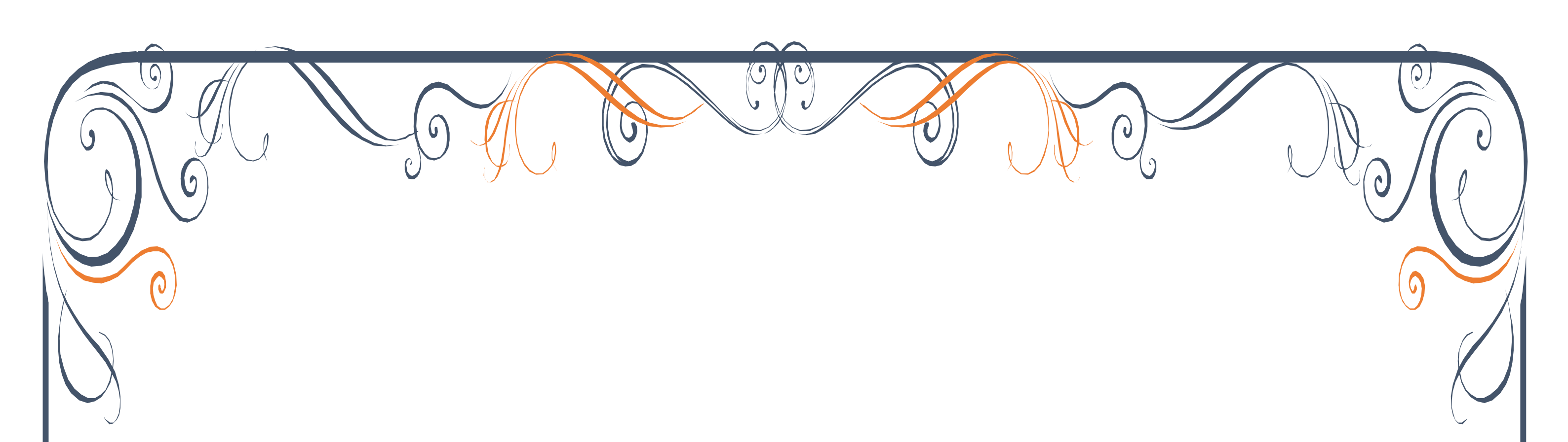


١٤ ـ ٢ مزايا استخدام المحركات الديزل المتوسطة السرعة

Advantages of medium speed D.E[S].

- تحتاج إلى مكان أقل مما يتيح حيز أكبر للشحنة ، ونظراً لزيادة نسبة القدرة / الوزن للمحرك يمكن زيادة الشحنة ، هذا بالإضافة إلى تقليل عدد المحركات المساعدة لتوليد الكهرباء مما ينقص وزن المحطة عامة .
- باختيار أنسب تروس التخفيض يمكن تحقيق أنسب السرعات للرفاص والتى تعطى أعلى كفاءة دفع ، وهذا لا يمكن توفيره فى حالة الاتصال المباشر بالرفاص .
- يمكن الحصول على الطاقة الكهربية من المولد المتصل بمجموعة التروس،وهذا يوفر التكلفة الابتدائية والوقود والصيانة لمحرك ديزل مساعد مستقل .
- إمكانية استخدام محطة بأكثر من محرك وعليه يمكن عمل الصيانة اللازمة لأحد المحركات للسفينة ، وهذا يقلل وقت التوقف لأعمال الصيانة إلى أقل ما يمكن .
- سهولة تداول قطع الغيار وإمكانية تبادلها وتخزينها يقلل التكلفة الأولية والتأخير نتيجة أعطال التوريد .
- يمكن تشغيل أحد المحركات فقط بأعلى كفاءة وإيقاف الأخرى عندما تكون السفينة فارغة أو محملة جزئيا .
- يفضل حالياً إنتاج المحركات ذات الدوران فى اتجاه واحد،ويتم توصيلها بمجموعة التروس لتخفيض السرعة وعكس الحركة أو رفاص متغير الخطوة أو مولد كهربى ، ويتميز ذلك بتقليل عدد مرات بدء الحركة ويقل تبعاً لذلك سعة الهواء المضغوط على السفينة والبرى فى الاسطوانات ، كما يعتبر المحرك الرئيسى فى هذه الحالة متعدد الأغراض.

ولم تتوقف محركات الديزل رباعية الأشواط ، متوسطة السرعة عن منافستها للمحركات الديزل ثنائية الأشواط كقوة دافعة لجميع أنواع السفن ، وذلك بالخطوات الهائلة التى اتخذت لتحسين المتانة الاعتمادية باستخدام أجهزة المراقبة والتشخيص المتقدمة،وقد أعلن المصممون المزايا العديدة للمحركات الحديثة والتى تتميز بالمشوار الأطول والقدرات الأعلى حيث أن: نسبة المشوار للقطر أكبر من 1 : 1.2 ، نسبة الانضغاط 1 : 16 ، أقصى ضغط P_{max} = 210 bar ، ضغط حقن الوقود ٢٠٠٠ بار . وعليه نقص عدد



الوحدات ، وقل الحجم وأعمال الصيانة ، وكذلك اقتصادية استهلاك الوقود والزيوت ، مع إمكانية استخدام الوقود الثقيل من الرصيف للرصيف .

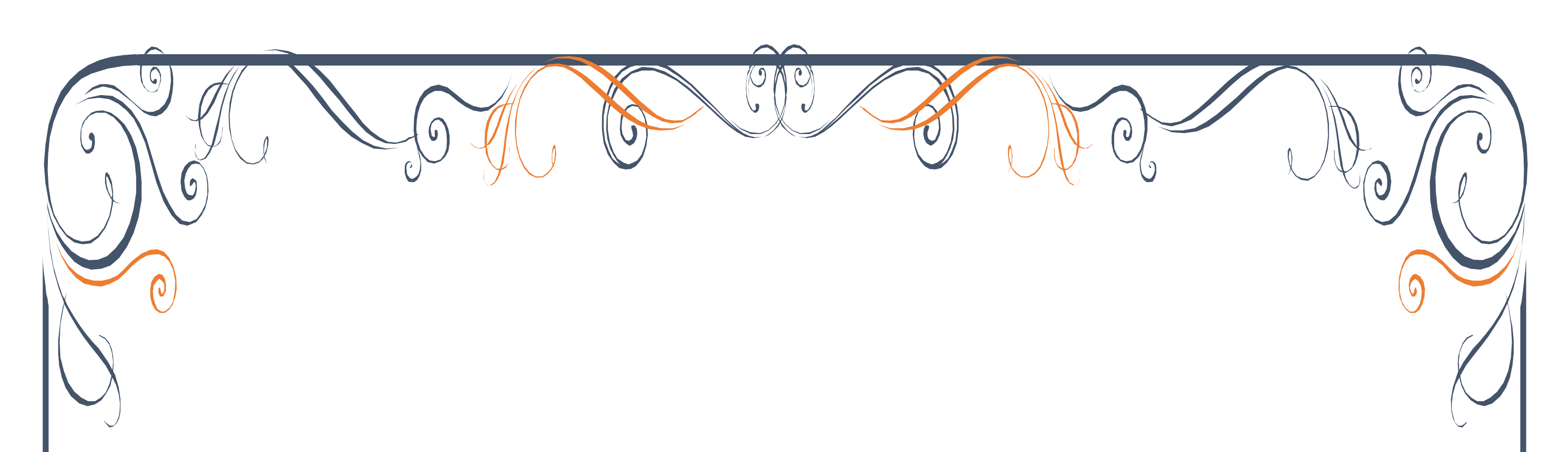
<u>هذا بالإضافة إلى :</u>

- اتخذت التدابير الهامة لكفاءة تبريد أجزاء غرفة الاحتراق والتحكم فى درجات الحرارة (وذلك باتباع التبريد بعمل الثقوب Bore-cooling والذى يعتبر أمر هام خاصة فى حالة استخدام الوقود الثقيل .
- تقليل الأصوات والاهتزازات وذلك باستخدام القواعد المرنة والتى قد حظت بتقدم هائل فى السنوات الأخيرة .
- انخفاض أكاسيد النيتروجين بالعادم إلى القيم التى تحددها المنظمة البحرية الدولية I.M.O. .
- سهولة الكشف والصيانة ، وذلك بتقليل مكونات المحرك بمقدار قد يصل إلى ٤٠% واستبدال مواسير الزيت والمياه والوقود والهواء بمجارى فى الجسم أو الأجزاء الأخرى .
- انخفاض تكلفة الإنتاج .

<u>ولأول مرة استخدمت شركة Sulzer فى المحرك ZA 50S المزايا التالية :</u>

- التشغيل الهيدروليكى لصمامى الحر والعادم ، والذى تميز بعدم الاحتياج لضبط الخلوصات وانخفاض الصوت .
- ويكون توقيت صمامات العادم ثابتاً ، أما توقيت صمام الحر متغير (بتغير قفل صمام الحر تبعاً للحمل) وهذا يحسن انبعاث العادم واقتصاديات الوقود .
- استخدام منظومة حقن مزدوجة Twin-injection system (طريقة الحقن المرشد) Pilot-injection .
- استخدام عمودين كامات ، كل على جانب ، إحداها لتشغيل طلمبات الحقن وصمام المرشد ، والآخر لتشغيل صمامى الحر والعادم .

وتعمل حالياً سفن مزودة بالمحركات متوسطة السرعة والتى تميزت بأعلى كفاءة حرارية تزيد عن ٥٠% أما كفاءة المحطة ككل فقد وصلت إلى ٥٨% .



١٤ ـ ٣ المطالب الواجب توافرها فى المحركات ذات الاتصال غير المباشر بالرفاص

Requirements for indirect drives

أولاً : إمكانية تشغيلها بكفاءة على الوقود الثقيل .

ثانياً : سرعتها لا تقل عن ٤٥٠ لفة / دقيقة ، وذات ضغوط متوسطة فعالة عالية ، وتستخدم تروس تخفيض لا تقل عن ٣ : ١ .

أولاً : إمكانية تشغيلها بكفاءة على الوقود الثقيل Heavy fuel

يجب قبل التفكير فى شراء محطة مكونة من محركات متوسطة السرعة تعمل مع مجموعة تروس تخفيض ، معرفة نوع الوقود الذى يمكن استخدامه لهذه المحركات .

سوف يذكر الصانع أن محركاته تعمل على الوقود الثقيل ولكن ما المقصود بهذا الوقود الثقيل ؟ فى المحركات البطيئة السرعة المتصلة مباشرة بالرفاص هو : وقود ذات لزوجة تصل إلى ٣٥٠٠ ثانية ريدوود عند درجة حرارة ٣٨° م .

فإذا لم يتحقق هذا بالنسبة للمحركات المتوسطة السرعة فما هو أرخص وقود يمكن استخدامه بكفاءة ؟ ـ وما هو الفرق فى العام بالمقارنة بالوقود المستخدم فى الحالة الأولى؟

مع الوضع فى الاعتبار الصعوبات والصيانة الإضافية التى تتعرض لها أجزاء المحرك (الاسطوانات ـ المكابس ـ الصمامات ...) عند استخدام الوقود الثقيل . فإذا كان سعر طن الوقود الثقيل C_1 ومعدل استهلاكه W_1 وسعر طن الوقود الديزل C_2 ومعدل استهلاكه W_2 وأيام الإبحار السنوية Ns وقدرة الآلات SHP .

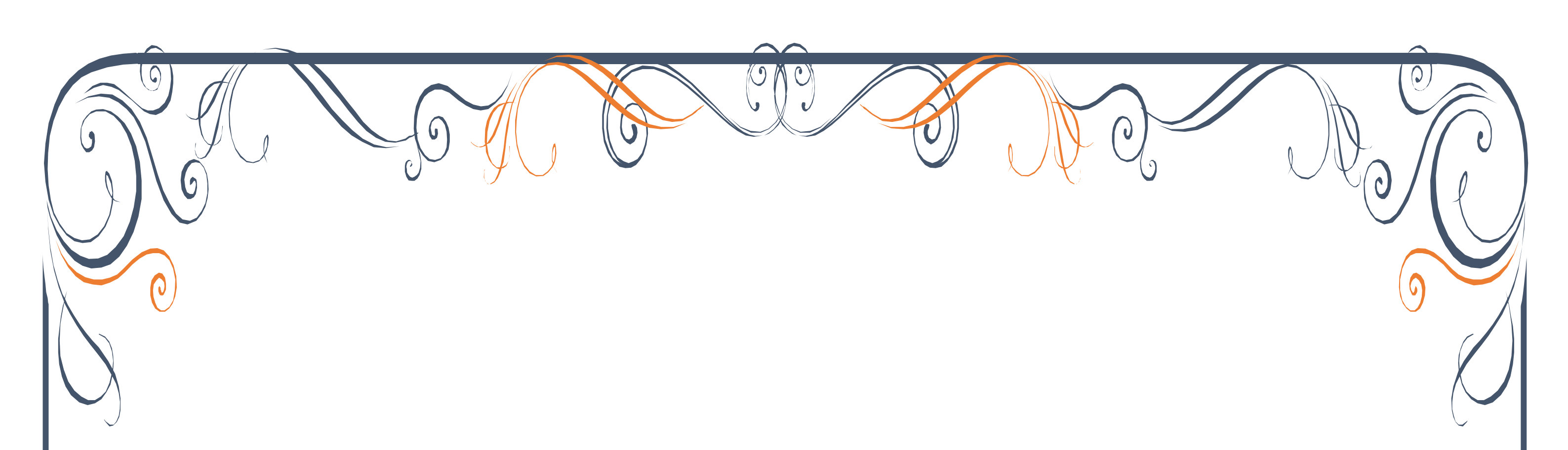
وعليه يكون التكلفة باستخدام وقود الديزل $C_{F2} = C_2\, W_2\, SHP\,.\,Ns$

وتكلفة الوقود باستخدام الوقود الثقيل $C_{F1} = C_1\, W_1\, SHP.Ns$

∴ الوفر السنوى = $C_{F2} - C_{F1}$

ثانياً : عدد لفات الرفاص Propeller revolutions

لا يخفى علينا أن نذكر أنه من عيوب استخدام المحركات متوسطة السرعة ذات الاتصال



الغير مباشر بالرفاص هو زيادة معدل استهلاك الوقـود والزيـوت والفقـد فـى القـدرة المنقولـة ، ولكـن يمكـن تعويـض هـذا تمـاماً بالكسـب فـى كفـاءة الـدفع Propulsive efficiency عند إدارته بسرعة معينة .

وعند مقارنة محرك بطئ متصل مباشرة بالرفاص سرعته ١١٠لفة / دقيقـة بمحـرك متوسط السرعة متصل بمجموعة تروس وتعطى سرعة للرفاص قدرها ٩٠ لفة / دقيقـة ، نجد أن الزيادة فى كفاءة الدفع حوالى٧% وليست دائماً هذه النتيجة حيث أنه فـى سـفينة أخرى كفاءة الدفع تصل إلى ٧٤,١% فى حالة اسـتخدام مجموعـة تـروس التخفـيض والسرعة ٦٨لفة / دقيقة . فى حين الاتصال المباشر على سرعة ١١٤لفة / دقيقة يعطـى كفاءة دفع قدرها ٧٠,٢% ـ أى أن الكسب هو حوالى ٤% فقط .

١٤ ـ ٤ استخدام محركين على رفاص واحد

Two engine geared to one propeller

يمكن تصميم محطة تتميز بالقدرة العالية وتحتاج إلى حيز صغير ولها وزن قليل عنـد استخدام محركين متوسطين السرعة (أو أكثر) متصلين برفاص واحد بمجموعة تروس .

وعند توصيل الرفاص بمحركين متساويين فى القدرة تكون العلاقة بين عزم الـدوران والسرعة هى تماماً كما فى الشكل (١٤ ـ ١) .

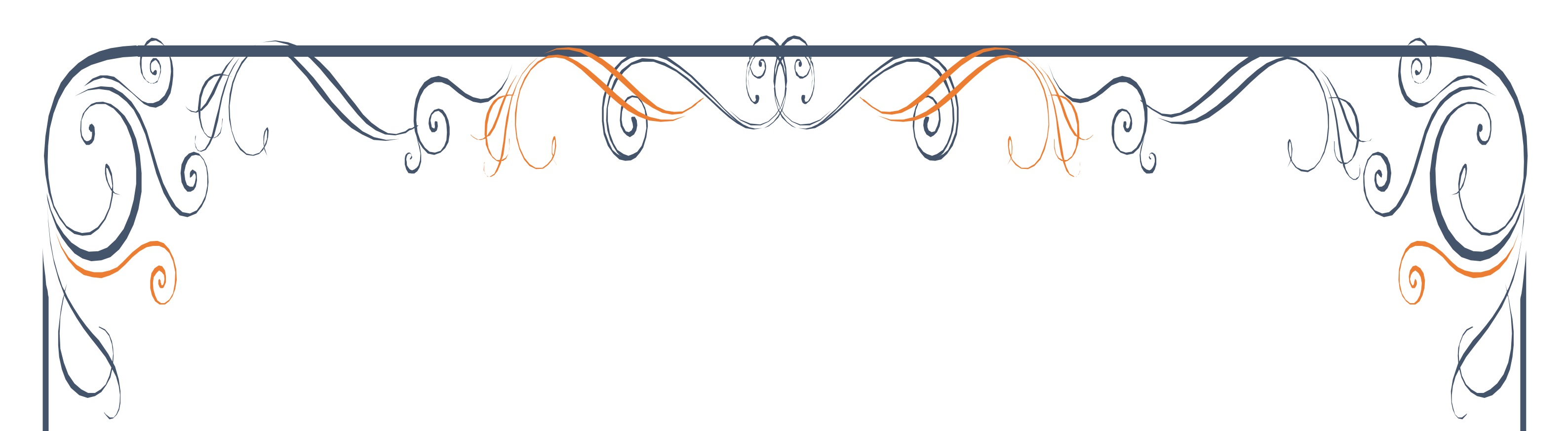
حيث أن :

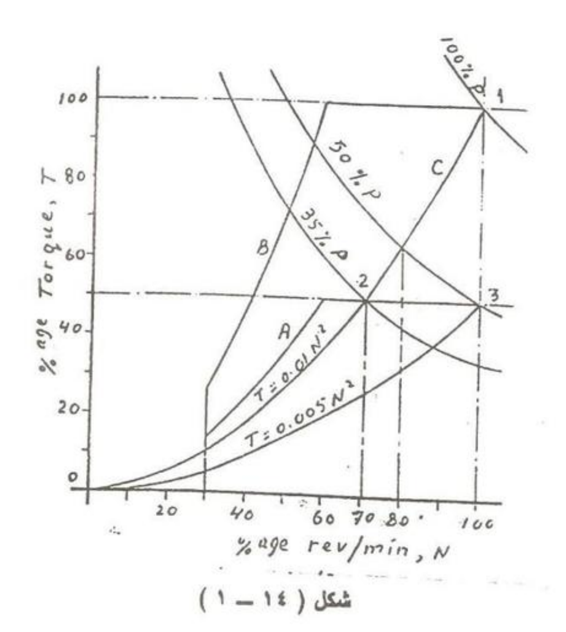
A ـ يمثل العلاقة بين عزم الدوران وعدد اللفات لكل محرك على حدة .

B ـ يمثل العلاقة بين عزم الدوران وعدد اللفات للمحركين معاً متصلين بالرفاص .

C ـ يمثل العلاقة بين عزم الدوران وعدد اللفات فى حالة رفاص ثابت الخطوة . يعمل مع المحركين معاً ـ والنقطة (1) تمثل القـدرة الكاملـة Full-power عنـد السرعة الكاملة . Full revs / min .

عند استخدام محرك واحد ويعطى كامل قدرته (يكون عزمه نصف العزم للمحـركين) ويقطع الخط C فى النقطة 2 وعندها تكون السـرعة 0.707 السرعة الكاملـة وبالتـالى تكون القدرة التى يمكن الحصول عليها مسـاوية لـ 0.353 من القدرة الكاملـة حيث أن ($0.707 \times 0.5 = 0.354$) .





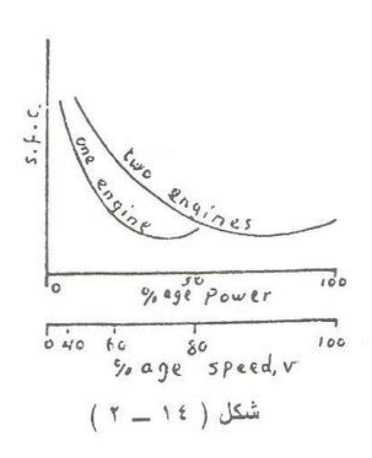
شكل (١٤ ــ ١)

<u>ميزة استخدام محركين متوسطين السرعة مع الرفاص متغير الخطوة :</u>

١. عند استخدام رفاص متغير الخطوة ويعمل أيضاً مع محرك بحيث يـدور بالســرعة الكاملة والعزم الكامل ــ فبالتحكم فى خطوة الرفاص (تقليلها) يمكن الحصول على السرعة الكاملة مع العزم الكامل والتى تتمثل بالنقطة (3) وعندها تكون القــدرة نصف القدرة الكلية بينما تكون سرعة السفينة ٠,٨ السرعة الكاملة .

٢. وكذلك تظهر واضحة الفائدة الاقتصادية من المحطة ذات المحركين الـديزل علـى رفاص واحد فى حالة السفن التى تعمل على مسارات تستلزم تخفيض السرعة لجزء كبير وقت السير ، كما هو بالشكل (١٤ ــ ٢) لمحركين ديزل يعملان مع رفــاص متغير الخطـــوة . نلاحظ الزيادة فى الاســـتهلاك النوعى للوقود عند تخفــيض سرعة السفينة إلى أقل من ٨٠% من الســـرعة الكاملة ، مما يســتدعى التحميل على أحد المحركين فقط وإيقاف الآخر .





شكل (١٤ ــ ٢)

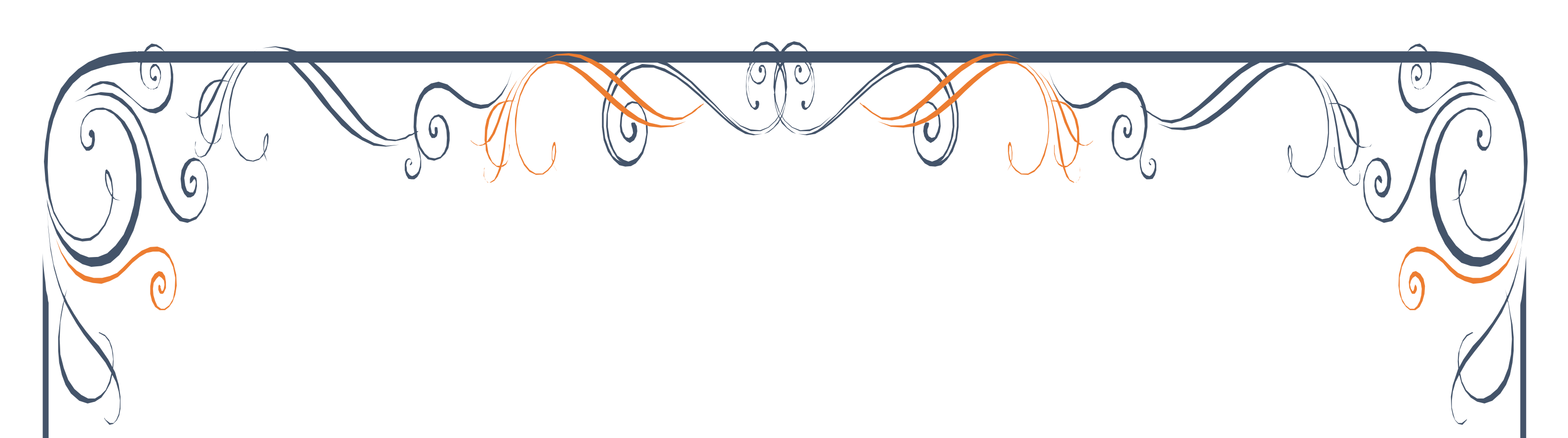
١٤ ــ ٤ ــ ١ : استخدام المولدات المتصلة بعمود الإدارة :

يمكن تقليل تكلفة الوقود فى الإبحار وذلك باستخدام المولدات المتصلة بعـامود الإدارة لتوليد الطاقة الكهربية اللازمة لتشغيل المعدات اللازمة والإضـاءة بـدلاً مـن اسـتخدام المولدات المنفصلة التى تدار بمحركات الديزل ، وذلك لما فى ذلك من خفض تكلفة الوقود نظراً للآتى:

- معدل استهلاك الوقود فى المحركات الديزل الرئيسية أقل منـه لمحركـات الـديزل المساعدة حيث يصل الفرق إلى ١٠جم / حصان . ساعة تقريباً .
- معدل استهلاك الزيوت للمحرك الديزل الرئيسى أقل منه للمحرك الـديزل المسـاعد بحوالى ٣جم / حصان . ساعة تقريباً .
- إمكانية استخدام وقود ثقيل أقل سعراً فى إدارة المحركات الرئيسية ، وعليه تكـون تكلفة الطاقة أقل من المحركات الديزل المنفصلة والتى تعمل عادة بالوقود الخفيف .
- خفض تكلفة الصيانة والإصلاح وثمن المحرك نفسه .

وقد تم حساب ذلك على افتراض الفرق فى معدل الاسـتهلاك لكل حصان ساعة هـو ١٠ جم بالنسبة للوقود ، ٣ جم بالنسبة للزيوت .

واحتساب معامل تحميل المولد الديزل ٠.٤ ، ونسبة قدرة المولد للمحرك الرئيسى ٠.١



وأيام الإبحار ٢٠٠ يوم سنويا . وجد أن الوفر السنوى فى تكلفة الوقـود حـوالى ١٢٠٠ جنيهاً لكل ١٠٠ حصان من قدرة المحرك الرئيسى ويزيد هذا الوفر بزيـادة نسـبة قـدرة المولد إلى المحرك الرئيسى .

١٤ ـ ٤ ـ ٢ : بعض نظم المحركات المتصلة بمجموعة التروس :

يوضح الشكل (١٤ ـ ٣) نظم مختلفة للمحركات المتصلة بمجموعة تروس تخفيض ، الشكل (a) **لمحطة مكونة من محركين ذات قدرات متساوية وتستخدم الوصلة الهوائيـة** Pneumatic coupling بين المحركات ومجموعة التـروس أو التعشـيقة الميكانيكيـة Mechanical clutch .

ويراعى إذا استخدمت التعشيقة الميكانيكية مع رفاص ذات ريش ثابتة ومحرك مـزود بجهاز عكس الحركة ، أن تكون كبيرة ومناسبة حتى يمكن تشتيت الحرارة المتولدة أثنـاء المناورة .

وباستخدام أعمدة الإدارة Quill-shafts شكل (b) يمكن فصل التعشيقة Clutch عن الوصلة Coupling وتوضع خلف التروس ، ويتميز هذا الترتيب بالسهولة وشغل حيز أقل ، وتسمح بتعشيق مولد كهربى ويمكن إدارته بإحدى هذه المحركات بدون إدارة الرفاص ، ولذا تفضل هذه الطريقة فى حالة طلب قدرة كهربية كبيرة فى الميناء .

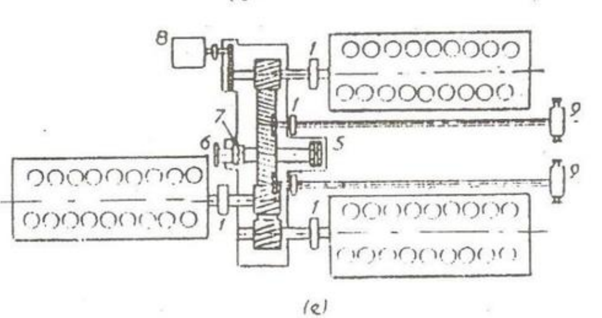
يوضح الشكل (C) توصيلة منفردة للمولدات التى تعمل عند سـير السـفينة فقـط ، ويمكن زيادة السرعة المنقولة لتناسب استخدام مولدات صغيرة ذات سرعات عالية .

يوضح الشكل (d) اتصال محركين مختلفين فى القدرة يستخدم الأصغر فـى تشـغيل المولد (فى الميناء أو أثناء السير) كما يساعد فى دفع السفينة ـ ويستخدم الأكبر فـى دفع السفينة ويمكن أن يشغل المولد أثناء السير إذا توقف الأصغر ويفضل استخدام الرفاص متغير الخطوة فى هذه الحالة .

ويوضح الشكل (e) إحدى الطرق لتوصيل ثلاثة أو أربعة محركات واستخدام الرفاص المتغير الخطوة يسهل كثيراً من مشاكل عكس الحركة ، ويظهر على الرسم كيفيـة تغذيـة طلمبات الشحنة ومولد الكهرباء .

(a) (b)

(c) (d)

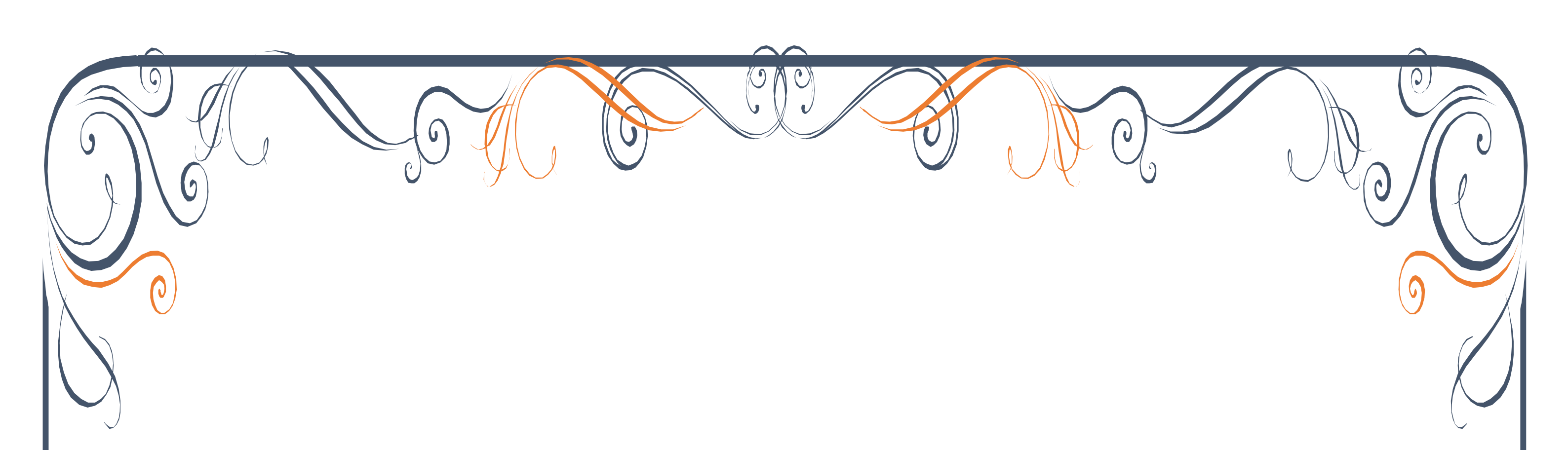


(e)

1 Pneumatic clutch coupling
2 Mechanical clutch coupling
3 Pneumatic clutch
4 Flexible coupling
5 Main thrust
6 Propeller shaft coupling
7 Mechanical dis-connectable coupling
8 Alternator
9 Cargo pump

شكل (١٤ ـ ٣)





١٤ ـ ٥ الوصلات وتعشيقات التروس

Engine couplings, clutches and gearing

تختلف نظم توصيل المحركات بالرفاص طبقاً للغرض المطلوب وعليه يستعان بالوصلات والتعشيقات والتروس ، ودائماً ما توضع الوصلة المرنه Flexible-coupling بين المحرك ومجموعة التروس .

١٤ ـ ٥ ـ ١ : الوصلات المائعة : Fluid-couplings

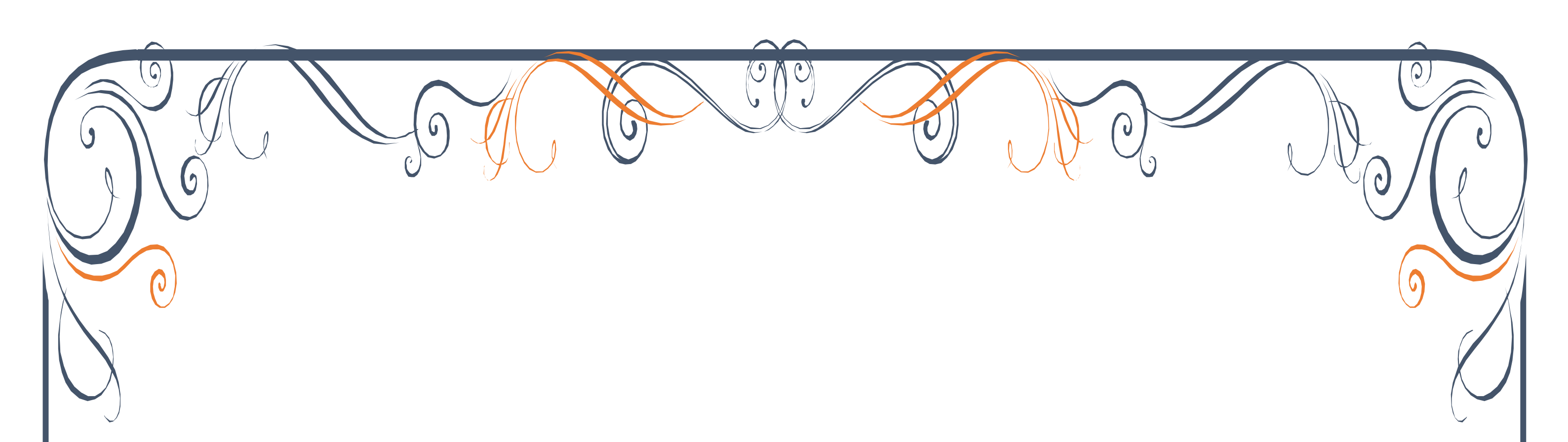
باستعمال هذه الوصلة تم الاستغناء عن الاتصال الميكانيكى بين المحرك وتروس التخفيض ، وعملها ليس فقط كوصلة ولكن أيضاً كتعشيقة . وهى تنقل القدرة تماماً بواسطة دوران مائع الإدارة Driving-fluid . وتتميز هذه الوصلات بالآتى :

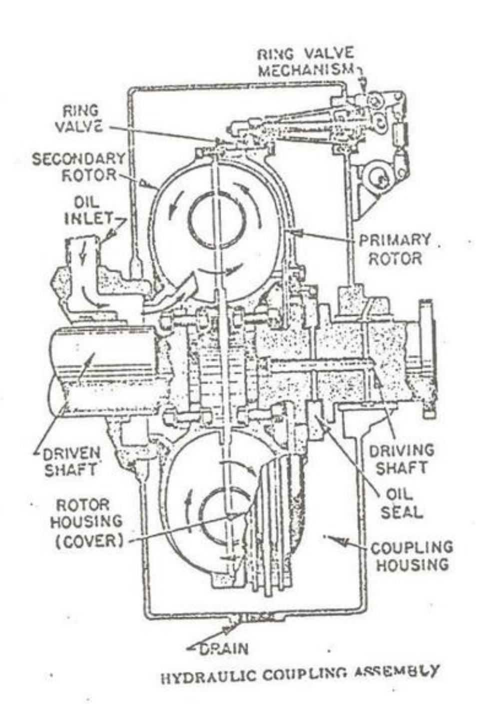
١. تعمل بأقل انزلاق Slippage ، ويظهر كحرارة تمتص فوراً بالزيت .
٢. تنقل القدرة بكفاءة عالية وبدون ذبذبات اللى Torsional vibrations .
٣. تلغى تماماً صدمات التحميل Load-shocks وهذا يحمى المحرك ومجموعة التروس والعمود عند قفش المكبس أو تشابك الرفاص .
٤. تسمح أو تمتص عدم الاستقامة البسيطة إذا وجدت .
٥. لا يوجد أى احتكاك بين المروحة والتابع حيث يوجد خلوص بينهما .

والشكل (١٤ ـ ٤) لوصلة مائعة وتتكون من المروحة Impeller وتتصل بعمود مرفق المحرك ، والدوار runner ويتصل بعمود تروس التخفيض والجسم الذى يثبت مع التابع يحيط بالمروحه ، ويوجد خلوص بين المروحة والدوار يتراوح بين ٥ : ١٠ مم طبقاً لحجم الوصلة .

ويسمح بدخول الزيت مباشرة إلى فراغ الدوار من خلال الماسورة الموجهة حيث يصبح ملآن تماماً ، ويوجد صمام حلقى للتحكم Ring slide-valve حول الجسم يعمل بوسيلة ميكانيكية لفتح أو غلق مجموعة ثقوب التفريغ الموجودة به .

عند فتح الصمام يتجه الزيت للخارج حيث يصفى تماماً فى ٢ : ٣ ثانية ، ويسحب الزيت إلى المبرد بواسطة طلمبة ثم يعود ثانية إلى الوصلة .



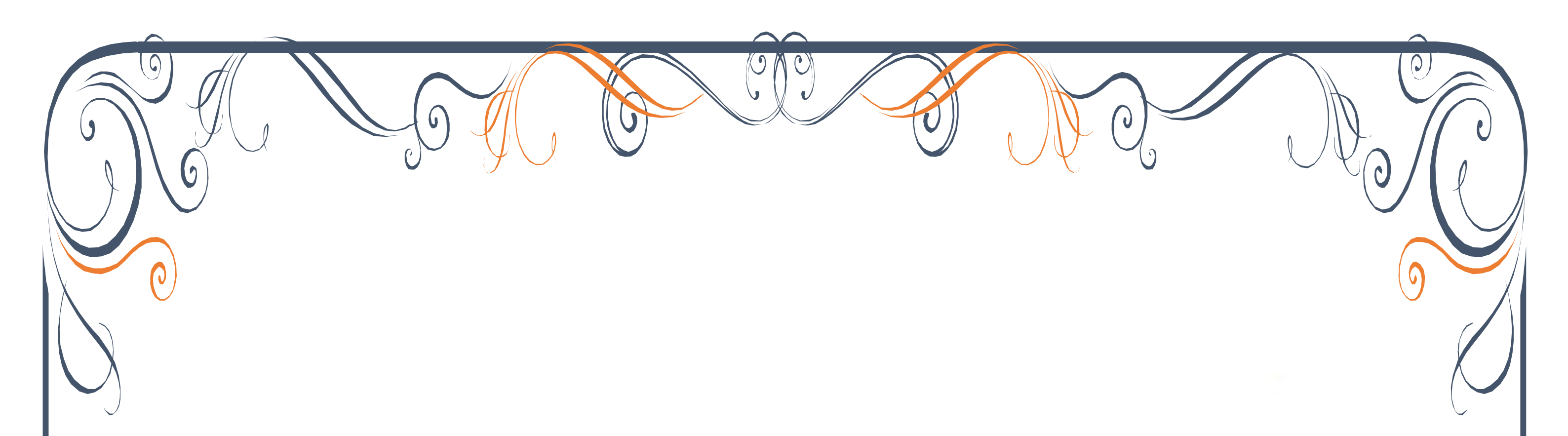


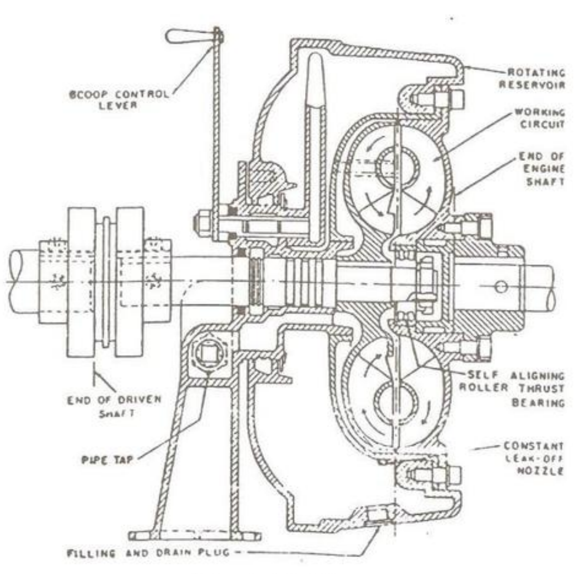
شكل (١٤ ــ ٤)

تدور المروحـــــة بواســـــطة المحرك ويكسب المائع طاقة الحركة الذى ينقلهـــا إلـــى الدوار Runner .

والشكل (١٤ ــ ٥) لوصلة مائعة أخرى تسمى ذات التحكم بالمغرفة Scoop control coupling ويمكن أن تعمل مستقلة بذاتها دون الاحتياج لطلمبة وتتكـــون مـــن المروحـــة والدوار والجسم الذى يعتبر كخزان للزيت Reservoir وذات سعة كافية ، ويستمر سريان الزيت من الوصلة إلى الخزان بواسطة فوهات معايره Calibrated nozzles .

يرتفع الزيت بواسطة ماسورة خارجية Scoop tube عند إنزالها فى خزان الزيت إلى المروحة ، حيث يملأ التجويف ويكتسب الحركة الدورانية التى ينقلها إلى الدوار .



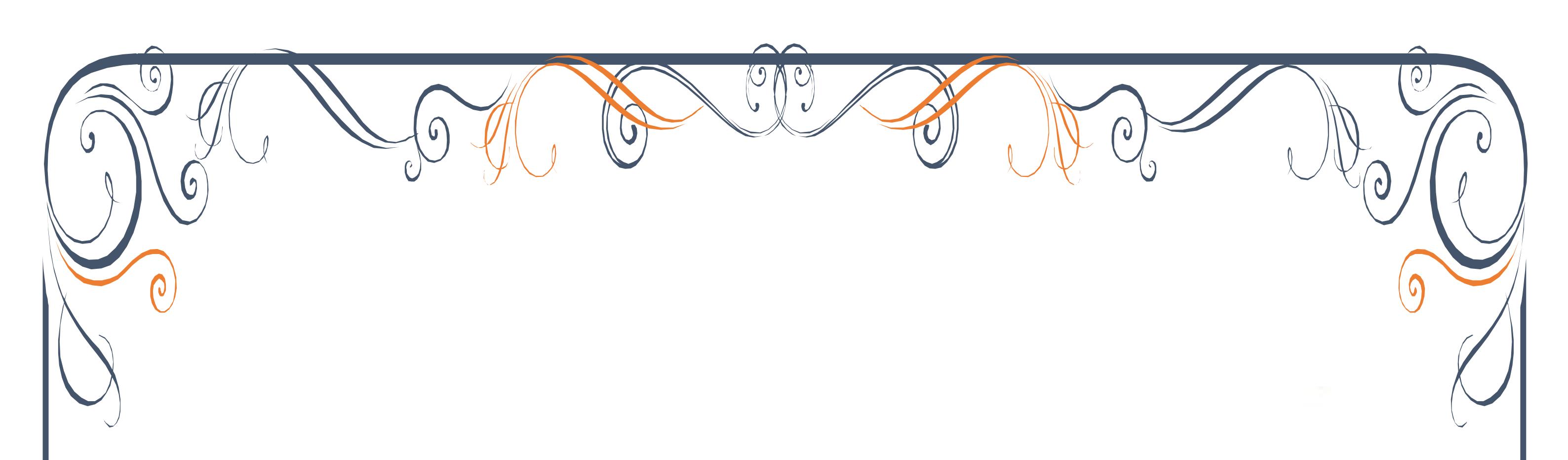


شكل (١٤ ـ ٥)

وهذه المروحة متصلة بيد خارجية ويمكن أن تدور بزاوية مقدارها ٧٠° ، فعندما ون اليد فى إحدى النهايات تكون الوصلة ملآنة بالزيت ، أما فى النهاية الأخرى يتجمع زيت فى الخزان وعليه يتم الفصل تماماً . وتعمل هذه الوصلة كتعشيقة ووسيلة فصل ، يمكن بواسطتها أيضاً إعطاء سرعات أقل من سرعة المحرك وذلك بتغيير وضع المغرفة . وهى تستخدم لقدرات محدودة ولكن للسرعات العالية ومع تروس التخفيض .

١ ـ ٥ ـ ٢ تروس التخفيض : Reduction gear

تستخدم تروس التخفيض للحصول على سرعة منخفضة للرفاص من محرك ذات سرعة عالية نسبياً وللحصول على كفاءة دفع عالية تكون نسبة التخفيض مع محركات ديزل المتوسطة السرعة عادة حوالى ٢,٥ : ١ .



وقد صـــــممت وحــــدات تروس التخفيض القياسية للسفن التى صــنعت بمعرفـة David Brown Gear Industries Ltd. لتساير مطالب جميع منتجى المحركات متوسطة السرعة ، ولقدرات تبدأ من ٣٠٠٠ حصان فرملى للوحدات الصغيرة المفردة إلى ٤٢٠٠٠ حصان للوحدات الكبيرة الثنائية ، حيث تعطى سرعة للرفاص من ٩٠ : ١٨٠ لفة / دقيقة ، وهى تناسب الرفاصات متغيرة الخطوة والثابتة الريش .

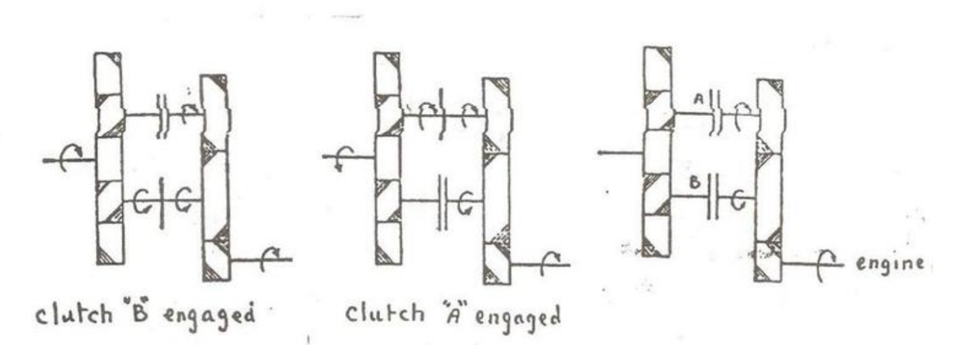
وتوجد إمكانية أخذ القدرات لتشغيل مولدات أو طلمبات .... الخ .

أما تروس التخفيض وعكس الحركة معاً Reverse reduction-gears فهــى محــددة أساساً فى الوقت الحاضر للقدرات التى لا تزيد عن ٦٥٠٠ حصان وفــى حالــة محــركين يعملان مع رفاص واحد وتتميز بالآتى :

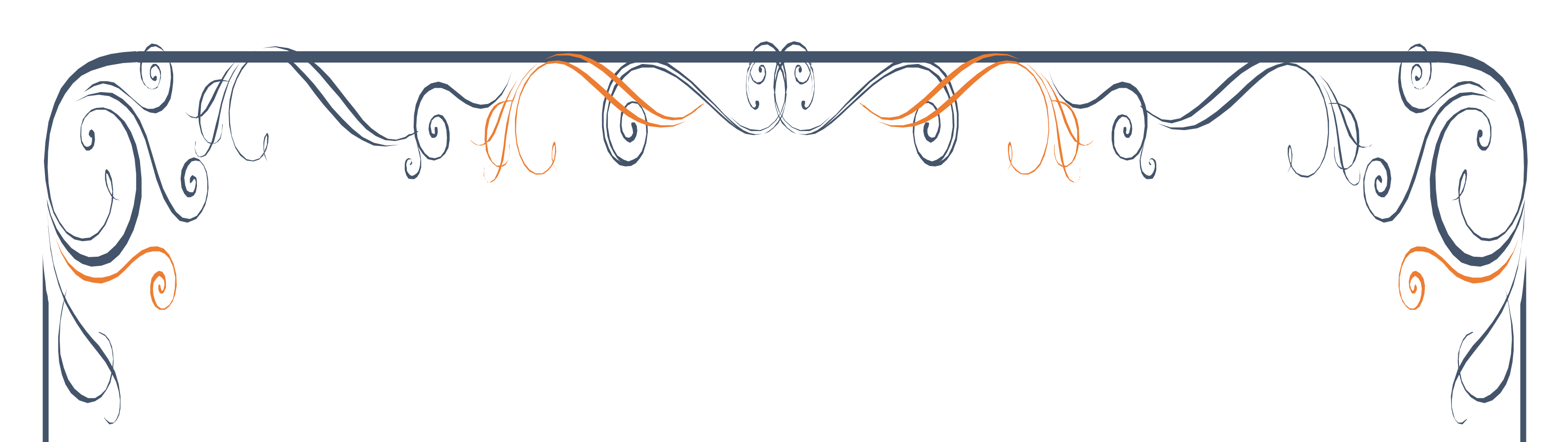
إمكانية تشغيل محركات ذات اتجاه واحد • لا داعى لاستخدام الرفاص متغير الخطــوة • سهولة المناورة • إمكانية توصيل أو فصل أى المحركين من الممشى .

ويوجد أكثر من طريقة :

أولاً : الشكل (١٤ ــ ٦) يوضح إحدى الطرق المستخدمة فى عكس حركة المحــرك وتتكون المنظومة من مجموعة تروس وتعشيقتين A , B تعمــلان بالاحتكــاك Friction-clutch ويتم التحكم فيهما بالهواء من بعــد عنــد توصيــل " A " ينعكس اتجاه دوران الرفاص ، وعند توصيل " B " نحصل على نفس اتجــاه الدوران .



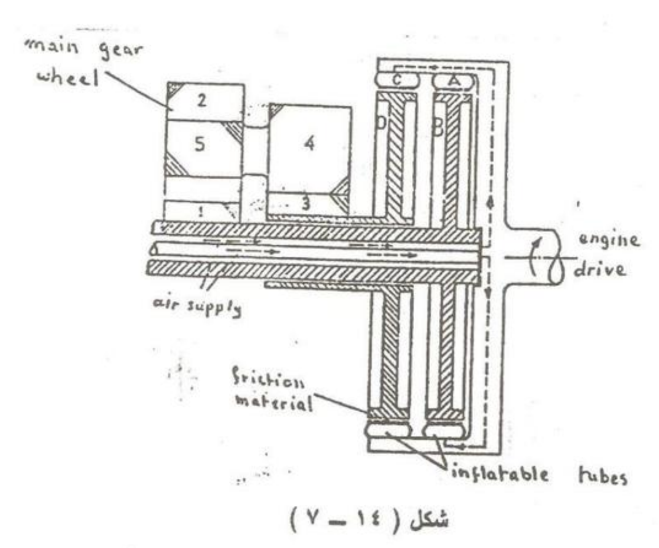
شكل (١٤ ــ ٦)



ثانياً : الشكل (١٤ ــ ٧) يوضح طريقة أخرى حيث يعطى المحرك الحركة للاسطوانة التى يعمل مع سطحها الداخلى الأنبوبتين A,C القابلتين للنفخ .

فى حالة السير للأمام ، يوجه الهواء إلى الأنبوبة A فتنتفخ وبالاحتكاك تنقل الحركة إلى القرص (B) ومنه إلى الترس (1) ثم إلى الترس الرئيسى (2) أما القرص D والتروس 3,4,5 فلا تعمل .

وفى حالة السير للخلف يوجه الهواء إلى الأنبوبة (C) ويصرف من الأنبوبة (A) وبالاحتكاك تنقل الحركة إلى القرص (D) وللتروس 3,4,5,2 أما القرص B والترس 1 فلا يعمل .



شكل (١٤ ــ ٧)

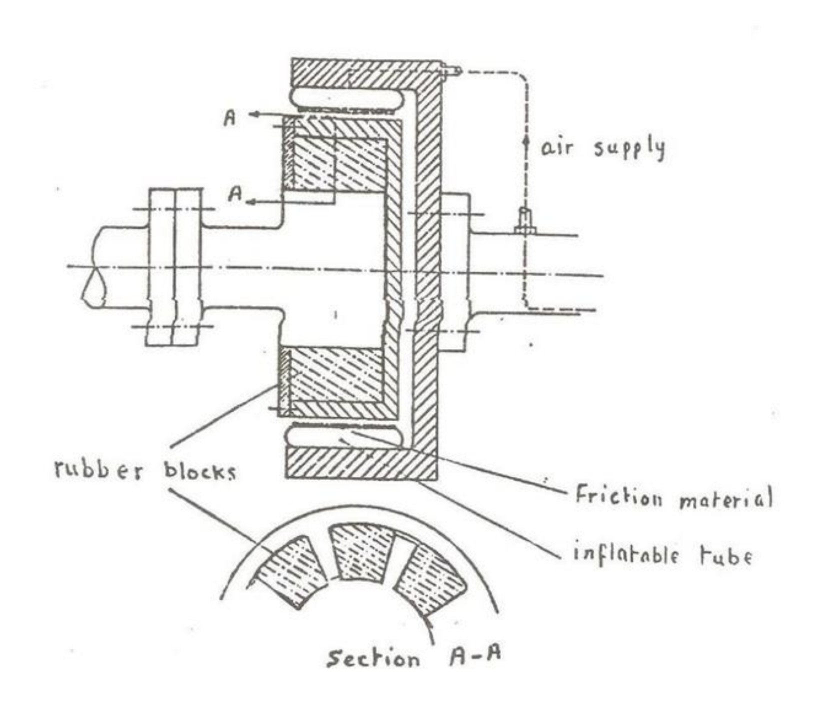
١٤ ــ ٥ ــ ٣ : الوصلات المرنة : Flexible-couplings

دائماً ما تتواجد بين المحرك وصندوق التروس لإخماد تغير عزم الدوران ، وتقليل الذبذبة وتأثير صدمات التحميل على الترس وملاشاة أى عدم استقامة بسيطة .

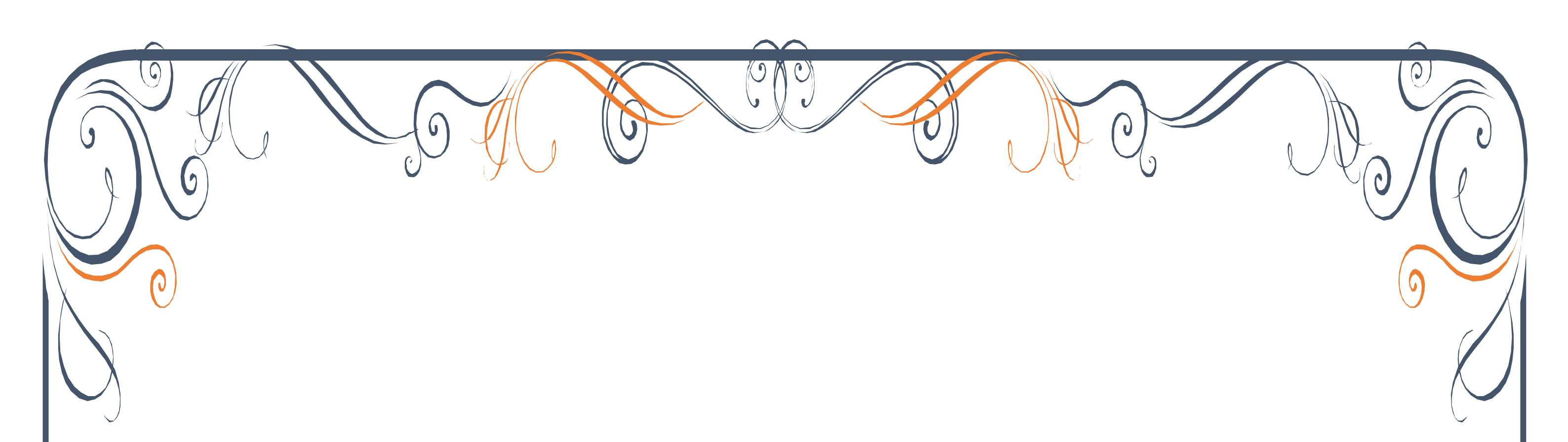
والشكل (١٤ ــ ٨) عبارة عن مجموعة من وصلة مرنة (مخدات من المطاط) وتعشيقة تعمل بالاحتكاك بواسطة الهواء المضغوط ، ويتميز المطاط بعزله الكهربى بين أجزاء الإدارة .



ولهذه الوصلات عديد من المزايا حيث أنها تقلل الذبذبة والصوت وتعطى نقـل نـاعم للسرعة وعزم الدوران ، وتستخدم عادة مع التعشيقات فى حالة طلـب قـدرة كهربيـة أو تشغيل مضخات الشحنة .



شكل (١٤ ـ ٨)



١٤ ـ ٦ الدفــع الكهربى

Electric propulsion drives

١٤ ــ ٦ ــ ١ : مقدمة :

تعتبر طريقة الدفع الكهربى من المواضيع الهامة فى الوقت الحاضر لأنها تتميز بـ :

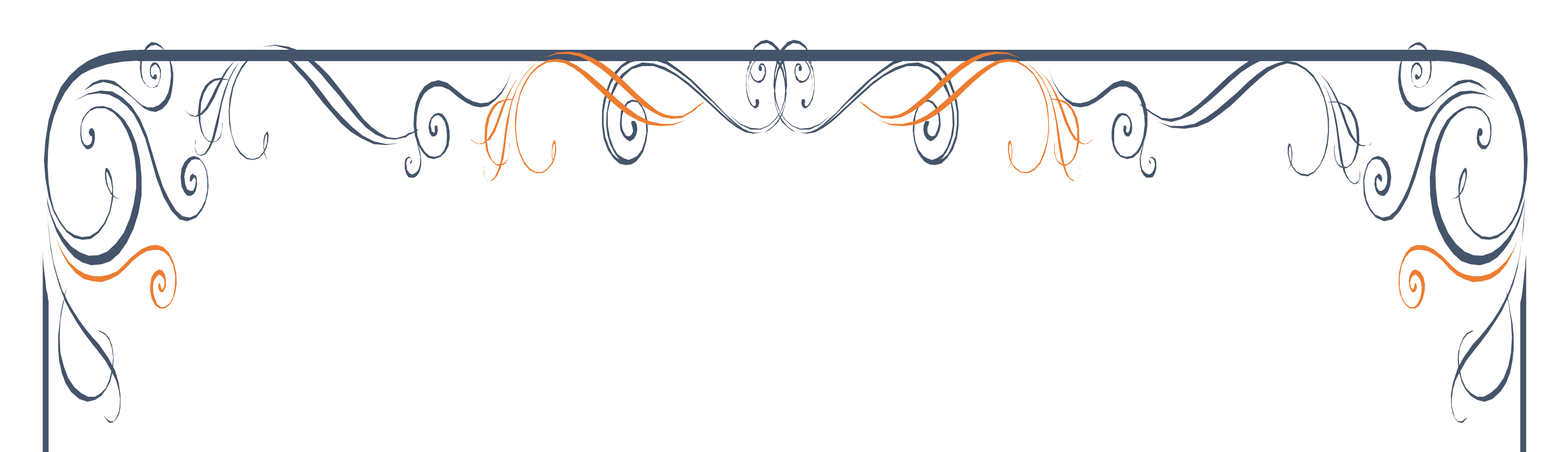
- طبيعة التشغيل الموثوق بها حيث أنه عادة تتكون محطات الدفع الكهربى من وحدتين كل منها عبارة عن مولد ومحرك كهربى ، وعند حدوث عطل بإحداها يمكن استمرار السير بدون تأثير كبير على السفينة .
- سهولة التشغيل حيث أن عملية التحكم تعتبر بسيطة جداً ، علاوة على إمكانية التشغيل من بعد ، وبالإضافة إلى سهولة المناورة باستخدام مفاتيح كهربية لتغيير السرعة واتجاه الرفاص وذلك بدون تغيير اتجاه دوران المحرك .
- قلة اهتزاز المحرك وذلك لتلاشى انتقال الاهتزاز الناتج عن الرفاص إلى المحرك .
- التكيف للاستخدامات الأخرى ، حيث يمكن أخذ التيار الكهربى المتولد للأغراض الكثيرة المطلوبة على السفينة علاوة على تشغيل محرك الدفع .
- الاقتصاد فى استهلاك الوقود حيث يمكن تشغيل مولد واحد فى حالة الأحمال الصغيرة مما يسمح بزيادة كفاءته .
- عكس الحركة كهربياً مما يمكن من استخدام محرك ديزل ذات اتجاه واحد .

ولكن بجانب هذه المزايا توجد بعض العيوب وهى :

- تعتبر التكلفة الأولية غالية الثمن ، وتحتاج عادة لحيز كبير .
- الكفاءة الكلية أقل نظراً للفقد فى المولدات والمحركات الكهربية .
- استخدام مولدات الدفع الكهربى يحتاج لحرص أكبر لتلافى خطر الحرائق وإصابة الأفراد .
- لا يستخدم عادة إلا فى حالة القدرات المحدودة (لغاية ٢٠٠٠٠ حصان / عمود) .

ويستخدم الدفع الكهربى فى عدة أنواع من السفن وهى :

- السفن ذات الأغراض الخاصة والقدرة العالية (مثل القاطرات ــ سفن إطفاء الحرائق ــ ناقلات البترول) وفى هذا النوع تكون القدرة الكهربية عالية فيستفاد منها فى الأغراض الأخرى علاوة على إدارة الرفاص .



- السفن التى تتطلب درجة عالية من المناورات (مثل العبارات ، القاطرات – كاسحات الثلوج – سفن المسح الجغرافى ....) وغالباً ما يستخدم فى هذا النوع محركات التيار المستمر لسهولة التحكم فى السرعة عن غيرها من الأنواع الأخرى .
- السفن التى من الصعب عكس حركة محركاتها أو ذات السرعات العالية مثل محركات الديزل عالية السرعة والتربينات الغازية .
- السفن ذات القدرات الصغيرة نسبياً بطيئة **السرعة ، وفى هذه** الحالة تستمد الطاقة اللازمة من محطة بطاريات تدير عدداً من محركات التيار المستمر أو يتحول التيار المستمر إلى تيار متردد بواسطة محول ثم يستخدم فى إدارة محركات تيار متغير مثل الغواصات .

١٤ – ٦ – ٢ أنواع الدفع الكهربى :

أولاً : من حيث نظام التوزيع الكهربى : تيار متردد A.C. أو تيار مستمر D.C. .

ثانياً : من حيث أنواع القوى المحركة : محركات ديزل متوسطة أو عالية السرعة أو تربينات غازية أو بخارية .

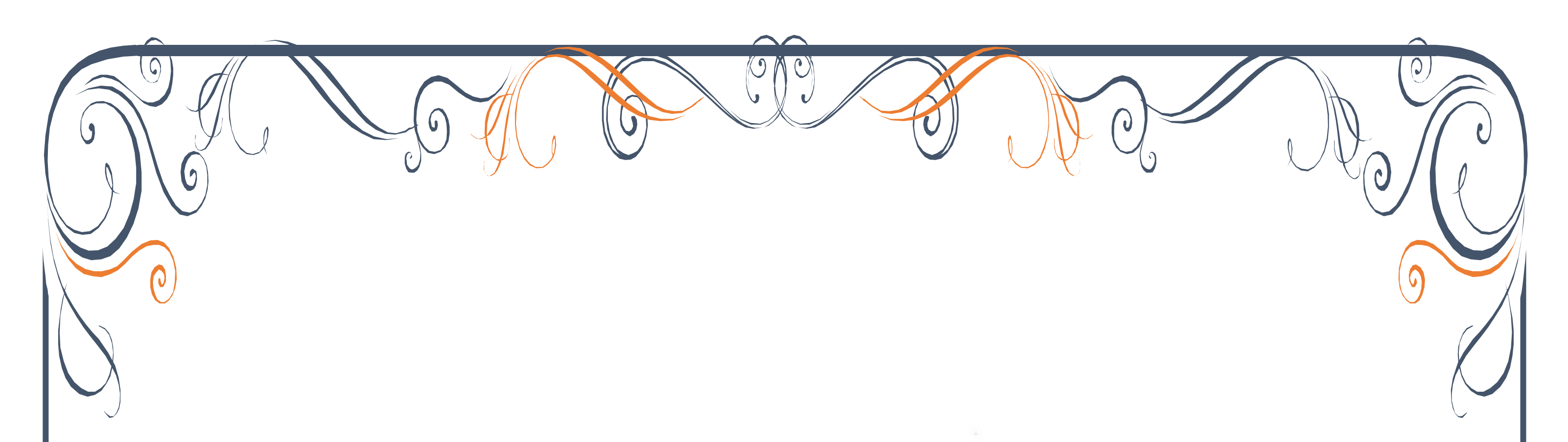
ومن المعلوم حديثاً أن التقدم الهائل فى صناعة موحدات السليكون ذات القدرات العالية قد سمح باستخدام مولدات التيار المتردد فى السفن ثم تحويله إلى تيار مستمر ليستخدم بعد ذلك فى إدارة محركات تيار مستمر .

وقد يتساءل القارئ عن أهمية هذا التحويل من التيار المتردد إلى المستمر ، فيمكن إيضاح ذلك بأن مولدات التيار المتردد تعتبر مثالية من حيث القدرة العالية والحجم والوزن وذات سرعات عالية تناسب المحركات المستخدمة عادة فى هذه السفن ، كذلك تستخدم المحركات الكهربية ذات التيار المستمر لسهولة التحكم فى مقدار واتجاه السرعة .

وسنتناول هنا شرح مبسط لكل من أنواع التيار المستمر والمتردد .

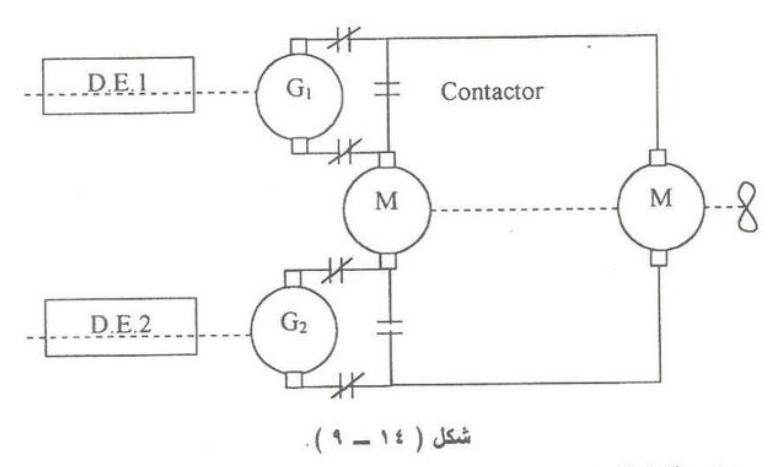
أ – نظام التيار المستمر :

- يتركب غالباً من محركات ديزل ذات سرعات عالية متصلة مباشرة بمولدات تيار مستمر ، وهذه بدورها تغذى عدد من المحركات الكهربية ذات التيار المستمر والتى تتصل مباشرة بالرفاص أى عن طريق تروس تخفيض السرعة .



- ويستخدم هذا النوع عادة فى السفن ذات القدرات الصغيرة والمتوسطة والتى تتطلب درجة عالية فى التحكم ، وهذه القدرات تتراوح بين ١٠٠ و ٦٠٠٠ حصان / عمود.
- ويكون فرق الجهد المستخدم فى هذه الحالة لمحركات التيار المستمر الموجود فى حدود ١٠٠٠ فولت .

والشكل (١٤ ــ ٩) يوضح نظام يحتوى على محركين يغذيان رفاص واحد .



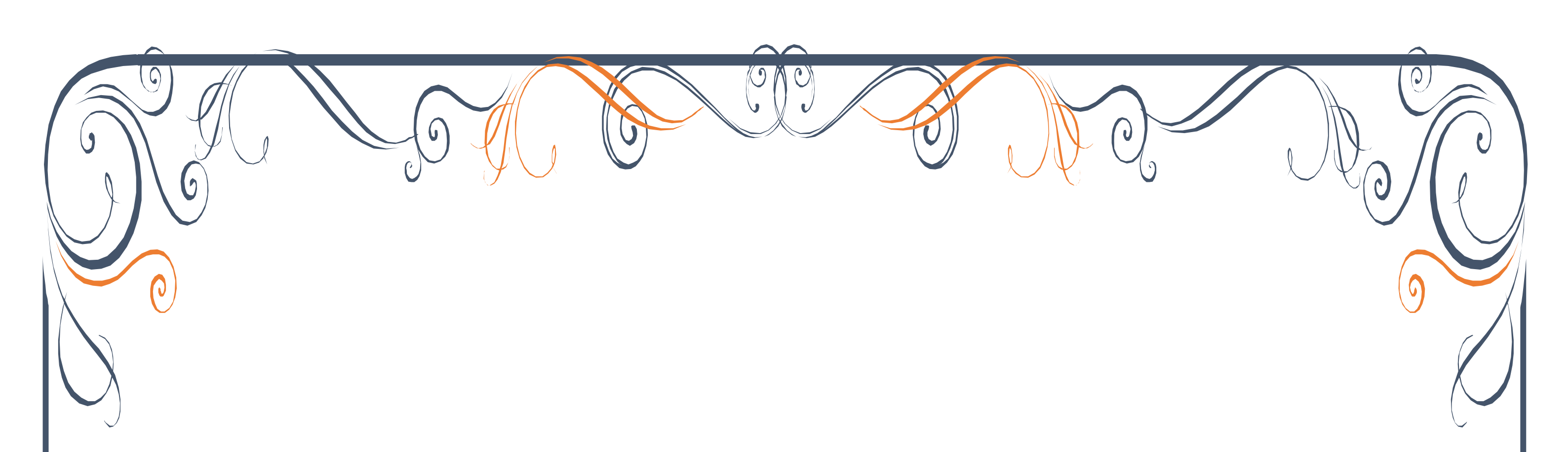
شكل (١٤ ــ ٩).

<u>ومميزات هذا النظام هى :</u>

- سهولة التحكم وذلك عن طريق التحكم السهل فى جهد المولد بواسطة ملفات المجال ، وبذلك تتحكم فى الجهد الداخل إلى المحركات الكهربية .
- وجود محطات متعددة للتحكم وذلك عن طريق وجود محطات منفصلة للتحكم من بعد أو محليا من غرفة الآلات للتحكم فى سرعة واتجاه الرفاص فى أى وقت .

<u>ب ــ نظام التيار المتردد</u>

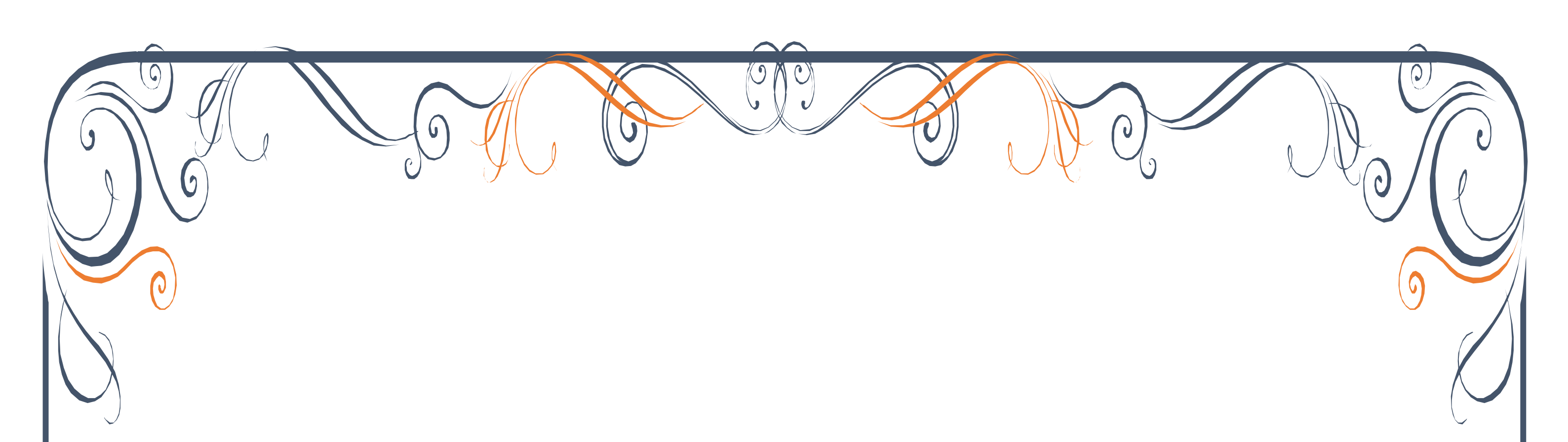
- يكون هذا النظام أساسا مرتبطا بوجود التربينه كمحرك أساسى ، وتتصل عادة بمولد تيار متردد ذو سرعة عالية ، ويقوم بتغذية محرك كهربى متردد ذو سرعة بطيئة من النوع التزامنى Synchronous .



- ومن الممكن أن يكون هناك أكثر من مجموعة (تربينة ــ مولد) لتغذية محرك كهربى أو أكثر لإدارة الرفاص ، كذلك من الممكن استخدام أكثر من مجموعة من محركات الديزل ذات السرعات العالية لنفس الغرض .
- وفى حالة استخدام المحرك التزامنى تكون النسبة بين سرعة التربينة (المولد) وسرعة المحرك التزامنى كالنسبة العكسية لعدد الأقطاب ، فمثلا مولد يحتوى على قطبين فقط يدور بسرعة ٣٠٠٠ لفة / دقيقة ويعمل على ٥٠ هرتز ، من الممكن أن يغذى محرك تزامنى يحتوى على ٦٠ قطب ويدور بسرعة ١٠٠ لفة / دقيقة أى بنسبة $\frac{١}{٣٠}$ من سرعة التربينة (المولد) حسب العلاقة $f = \frac{P \times n}{120}$.
- وتمتاز المحركات المترددة عن التيار المستمر أساسا بصغر الحجم والوزن والتكلفة والصيانة وكذلك السهولة فى العمل ، ولكن هذه المميزات قد لا تكون هامة فى حالة القدرات المتوسطة والصغيرة بالنسبة لمميزات التحكم فى مقدار واتجاه السرعة كما فى حالة التيار المستمر . فعادة يكون نظام التيار المتردد فى حوالى (٢٥٠٠ : ٧٥٠٠) فولت .
- وقد تستخدم محركات مترددة من النوع الحثى Induction وذلك لسهولة تغيير عدد الأقطاب ليعطى سرعتين مختلفتين تماما عمن المحرك الأصلى للرفاص ، وهذا النوع يستخدم عادة فى السفن الحربية ، ولكن على العموم تفضل المحركات التزامنية نظرا لزيادة الكفاءة ومعامل القدرة وسهولة التحكم به وصغر الوزن والتكلفة .

<u>ومميزات هذا النظام هى :</u>

- الكفاءة العالية .
- السهولة الكاملة فى التركيب والصيانة .
- إمكانية استخدام محركات تدور فى اتجاه واحد أو يصعب عكس حركتها .
- إمكانية استخدام أكثر من محرك أى يمكن استخدام أى عدد من المحركات على التوازى كهربيا لتغذية محرك الرفاص .
- إمكانية استخدام جزء من القدرة فى الأغراض الأخرى بجانب الدفع .



- إمكانية تخفيض سرعة المحرك الأصلى إلى عمود الرفاص (كما سبق أن أوضحنا بمثال سابق من ٣٠٠٠ لفة / دقيقة إلى ١٠٠ لفة / دقيقة) .
- إمكانية استخدامه فى القدرات العالية جداً .

ملحوظة :

فى حالة السفن التى تستخدم رفاصين (أو أكثر) فإنه يمكن إدارتهما بواسطة محرك ديزل واحد فى حالة حدوث عطل بالمحرك الآخر ، هذا مما يسهل التحكم فى مناورات السفينة .

١٤ ـ ٧ بعض أنواع محركات الديزل متوسطة السرعة

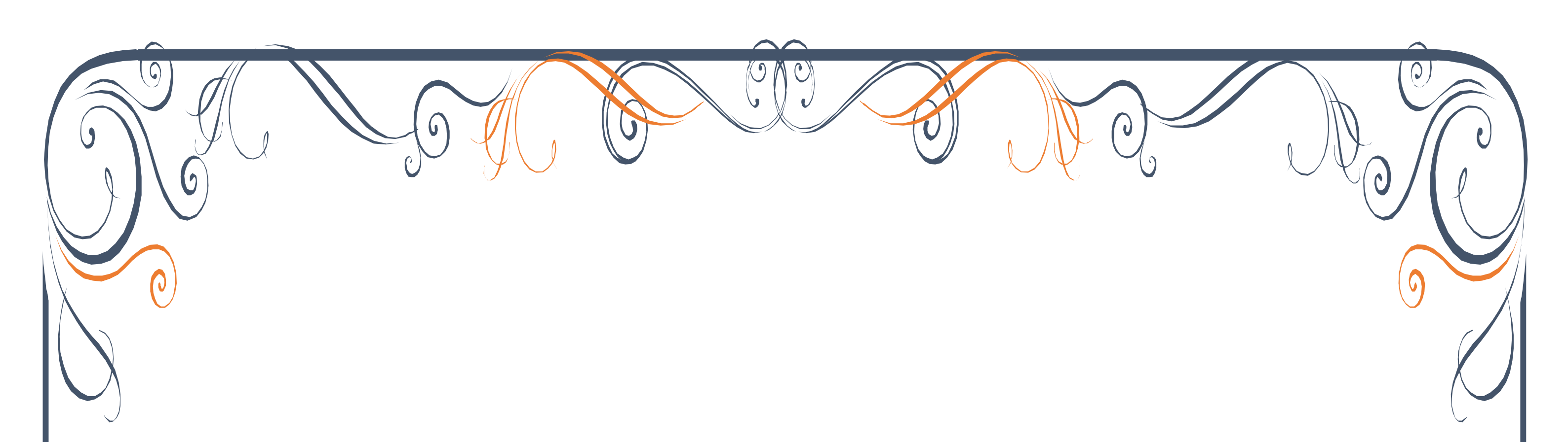
Some medium speed diesel-engines

١٤ ـ ٧ ـ ١ : محركات بلستك Pielstick engine

تعتبر شركة Semt-Pielstick رائدة صناعة المحركات الديزل المتوسطة السرعة ، وهى أول من آمن باستخدام محركات الديزل متوسطة السرعة التى تعمل بالوقود الثقيل فى دفع السفن ، وقد زادت قدرتها إلى أنه أمكن باستخدام محركين ١٨ أسطوانه على تروس التخفيض التوصل إلى قدرة على الرفاص تزيد عن ٥٠٠٠٠ حصان .

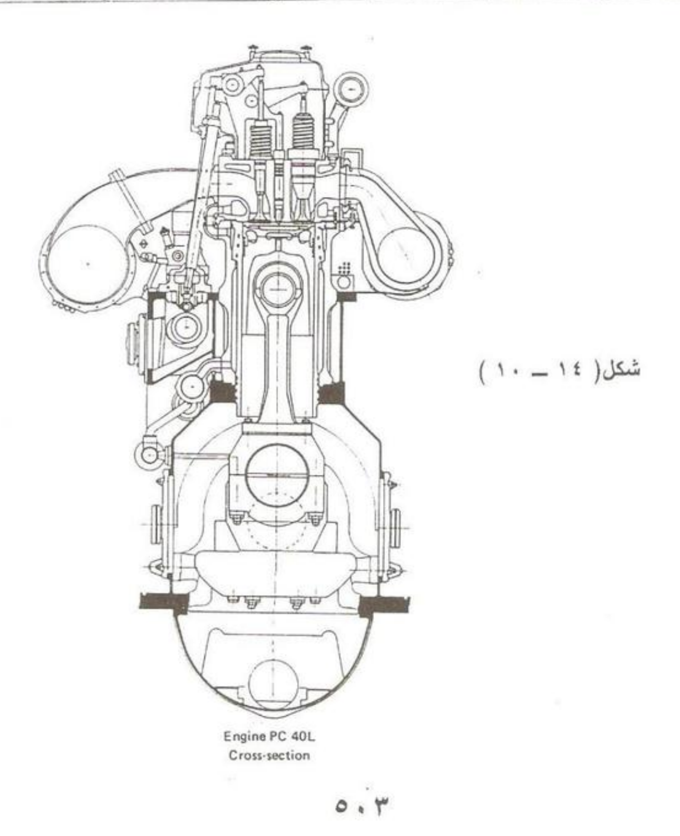
وتتميز هذه المحركات بالاتى :

- معدل استهلاك منخفض للوقود على مدى واسع للتشغيل (بين نصف الحمل والحمل الكامل) .
- معدل استهلاك معقول لزيوت التزييت .
- التشغيل بالوقود الثقيل والذى يحتوى على نسبة عالية من الفاناديم .
- صغر الوزن والحجم النوعى .
- إمكانية عكس حركتها والتحكم فيها آلياً .
- سهولة وقلة تكلفة الصيانة نظراً لسهولة التوصل للأجزاء مع قلة وزنها .
- إمكانية تركيبها فى مكانها وهى مجمعة .



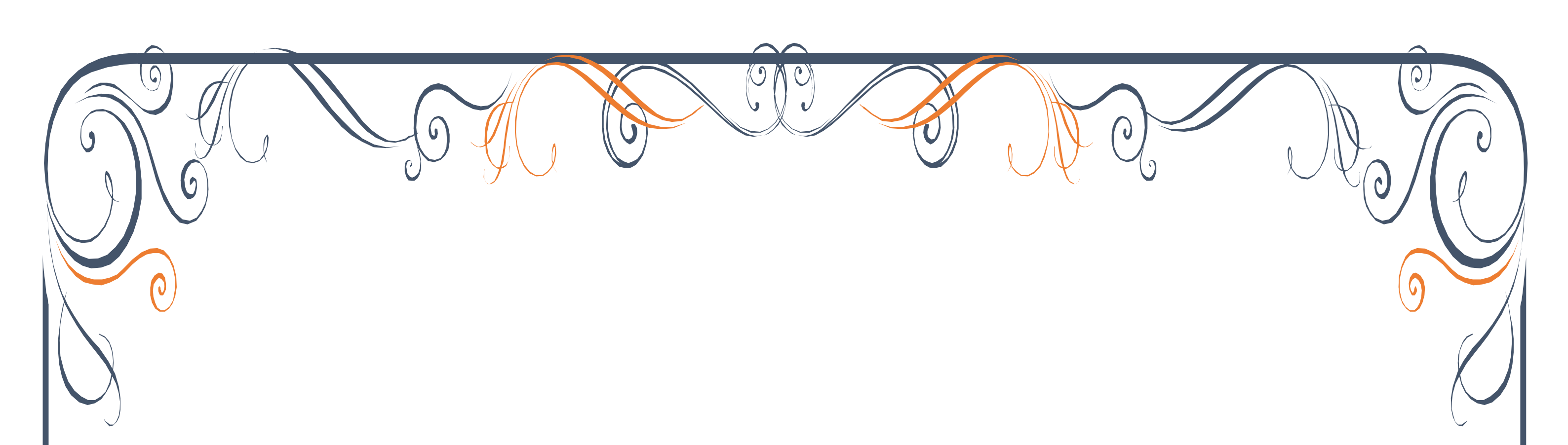
وهى تنتج إما على شكل خط رأسى ٦ ، ٨ ، ٩ اسطوانات ، أو على شكل حرف V ١٢ ، ١٤ ، ١٦ ، ١٨ أسطوانة،وبثلاث أنواع PC 20 , PC 30 , PC 40 وشكل (١٤ ــ ١٠) يوضح قطاع رأسى ، والجدول التالى يبين المواصفات الرئيسية :

Specification		PC 20 L	PC 30 L	PC 40 L
Bore	mm	400	425	570
Stroke	mm	550	600	750
Output per cylinder	k.w	550	736	1215
Nominal engine speed	r.p.m	450	450	350
Max.Combustion pressure	bar	150	180	155
Injection pressure	bar	1300	1800	1300
Sp. fuel consumption	g/Hp.h	128	122	124


Engine PC 40L
Cross-section

شكل(١٤ ــ ١٠)





وقد تميز المحرك PC-40 بالقدرة العالية للاسطوانه مما يمكن عنه استخدام محرك واحد PC-40 بدلاً من محركين PC-20 هذا بالإضافة إلى إمكانية تقليل عدد الاسطوانات وانقاص طول المحرك .

واستخدم أخيراً نظام تحويل الدفع للعادم وذلك باستخدام نظام تحويل الدفع Pulse-converter system ويتميز هذا النظام بالحصول على أعلى كفاءة للتربينة حيث أنها تعمل على الضغط الثابت،وكذلك الاحتفاظ بأعلى كفاءة كسح مم يؤدى إلى وفر فى معدل استهلاك الوقود ويقدر بحوالى ٤ جم / حصان ساعة كما سبق توضيحه .

ومن أهم خصائص هذه المحركات أن المحامل الرئيسية معلقة من أسفل ويثبت غطاء المحمل فى الجسم بواسطة مسمارين ، وللكشف على المحمل الرئيسى يتم إنزال الغطاء فقط ، وبهذا يمكن الكشف على نصفى لقم المحمل بسهولة ، وتصنع اللقمة من الصلب وتبطن بسبيكة من النحاس والرصاص وتغطى بطبقة رقيقة من القصدير .

وتزود بعض هذه المحركات بجهاز عكس الحركة الذى يعمل هيدروليكياً،وذلك عن طريق الحركة المحورية لعمود الحدبات الذى يحتوى على مجموعة حدبات مزدوجة البروز إحداها يعمل مع الحركة للأمام والآخر مع الحركة للخلف .

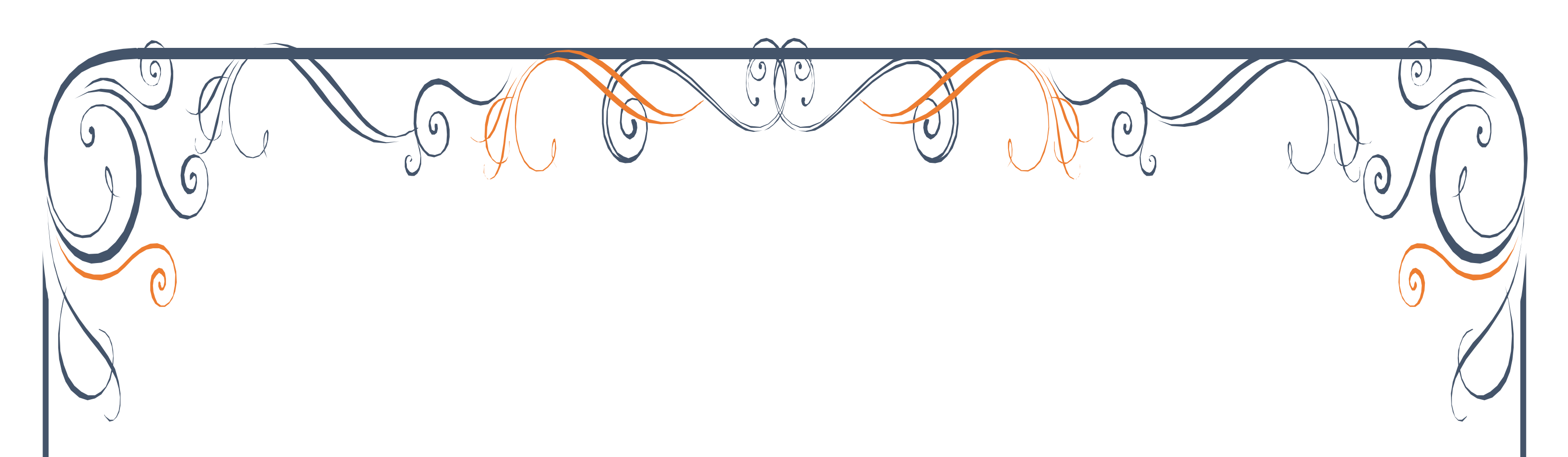
ويتم تبريد الجزء العلوى للقميص قطرياً Bore-cooling ، وعلى ذلك لا تزيد درجة الحرارة عند الشنبر الأول عن ١٦٠° م .

ويصنع المكبس من قطعتين ، التاج من الصلب الذى يثبت على جذع من سبيكة الألمونيوم بثمانى مسامير ويبرد بالزيت ، وأعلى درجة حرارة لا تزيد عن ٤٠٠° م .

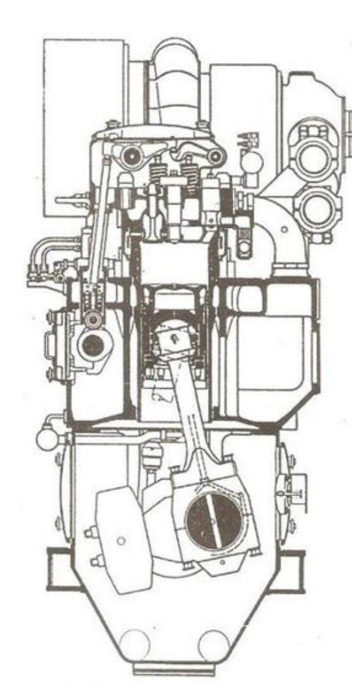
ويحتوى رأس الأسطوانة على صمامين حر وصمامين عادم مزودين بوسيلة إدارة Rotators أسفل الياى ، كما أنها مبردة القواعد .

١٤ ـ ٧ ـ ٢ محركات سولزر Sulzer engines

بالنظر إلى إنتاجية شركة " سولزر " لمحركات الديزل ، نجد أنه بالرغم من تركيزها على المحركات البطيئة إلا أنه لم يفوتها المشاركة فى إنتاج محركات الديزل متوسطة وعالية السرعة ، ويعتبر المحرك Z 40 / 48 أساس الإنتاج لمحركات الديزل المتوسطة السرعة .

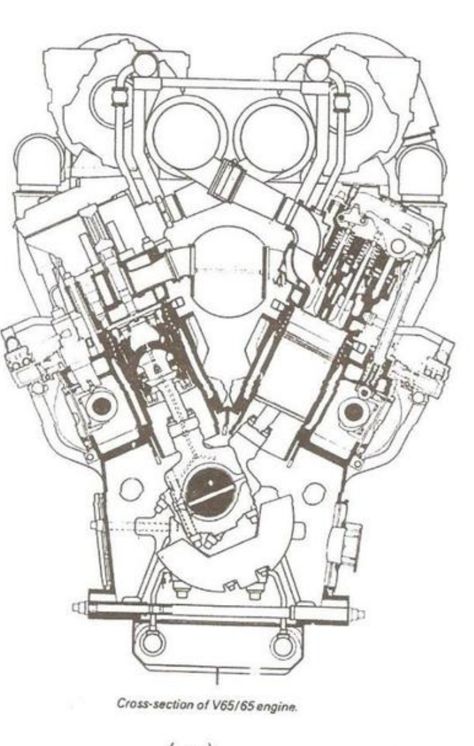


وشكل (١٤ــ ١١ـ أ ، ب) يوضح قطاع رأسى لها ، حيث تنتج رباعية وثنائية الأشواط ، وتتميز الثنائية الأشواط بزيادة قدرتها ، فى حين تفضل الرباعية الأشواط عند طلب زيادة السرعة وهى تنتج إما على شكل خط رأسى أو على شكل حرف V ومواصفاتها الرئيسية كالآتى :



(Left) Cross-section of ZL 40/48 engine.

(أ)

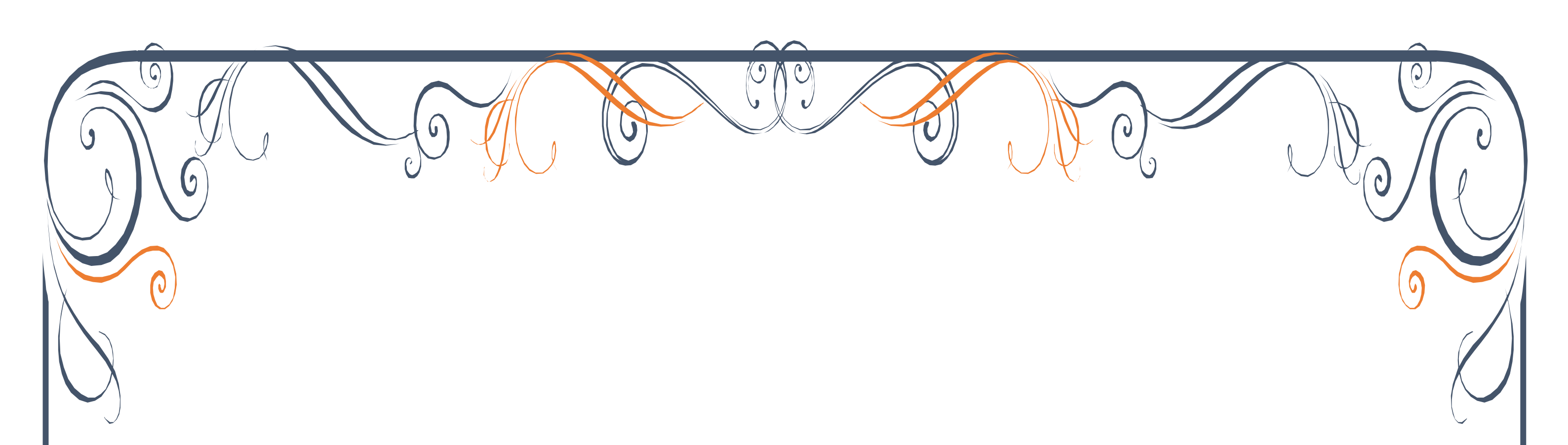


Cross-section of V65/65 engine.

(ب)

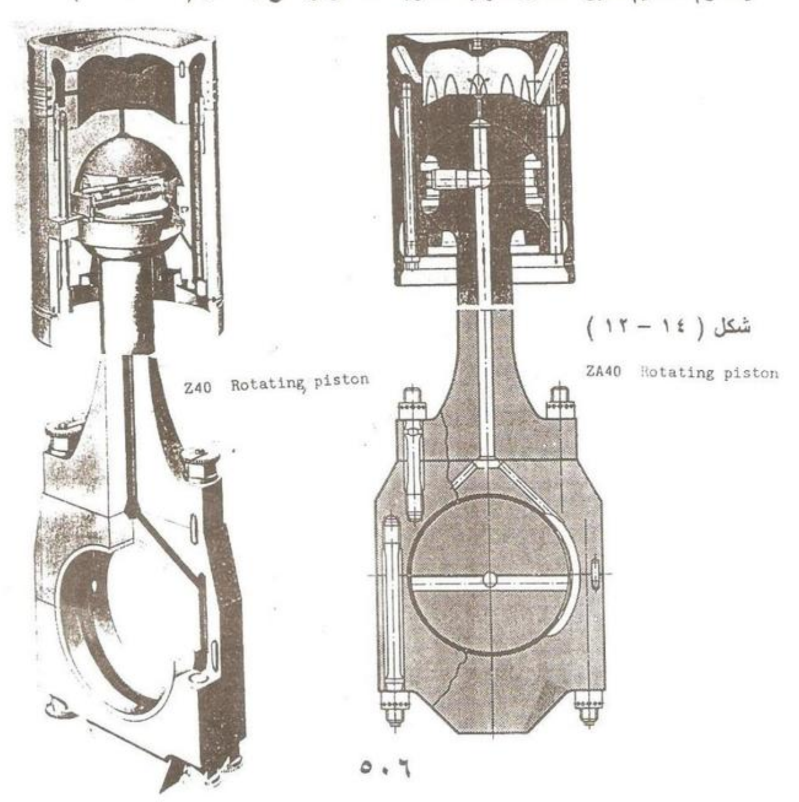
شكل (١٤ ــ ١١)





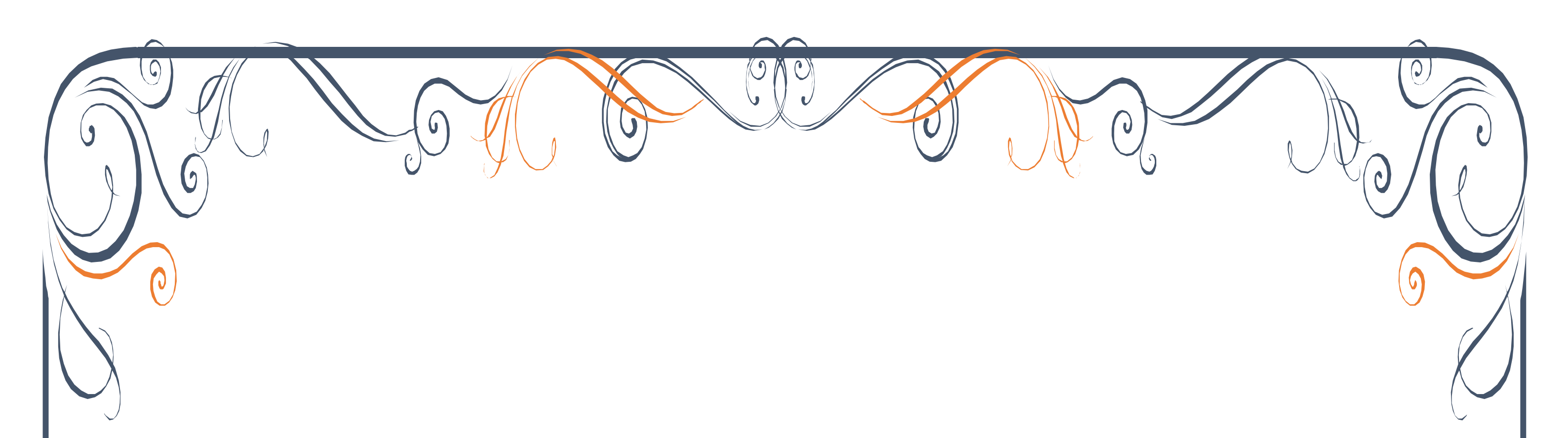
Bore	mm	400
Stroke	mm	480
Out put / cylinder	B.H.P	1600
	2-stroke	4-stroke
Nominal speed (R.P.M).	445	500
Mean .piston speed (m / s)	7.12	8.0
m.e.p. (P'_m) Kg/cm²	10.1	18.0
Firing pressure (Kg / cm²)	97	115
Nº of cylinders		
a – in line	6.9.12	6.8
b – V-engine	12.16	10.12.16

وأهم ما تتميز به هذه المحركات استخدام المكبس الدوار شكل (١٤ ــ ١٢) حيث أنه بالإضافة إلى حركة المكبس الترددية يقوم أيضاً بعمل حركة دورانية حول محوره ، وهــذا يستلزم تصميم معين لمحمل النهاية العلوية كما هو واضح بالشكل (١٤ ــ ١٣) .

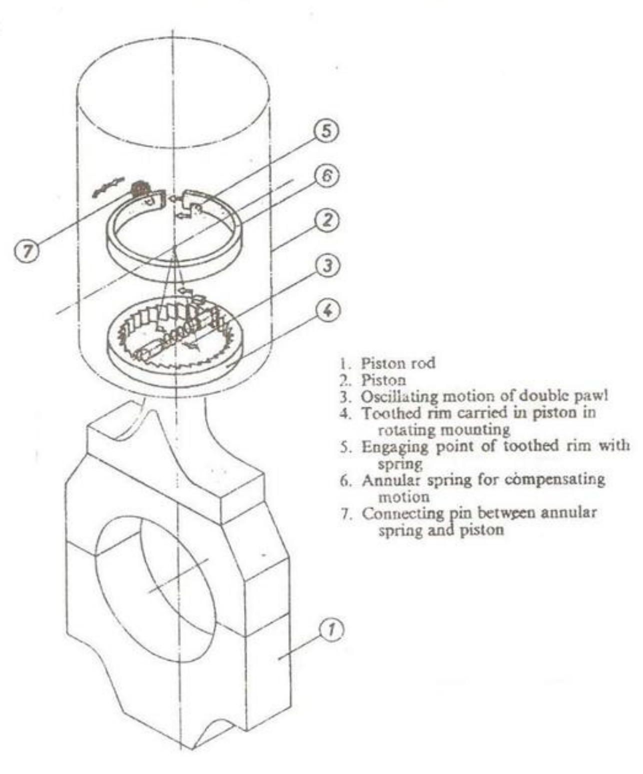


شكل (١٤ – ١٢)



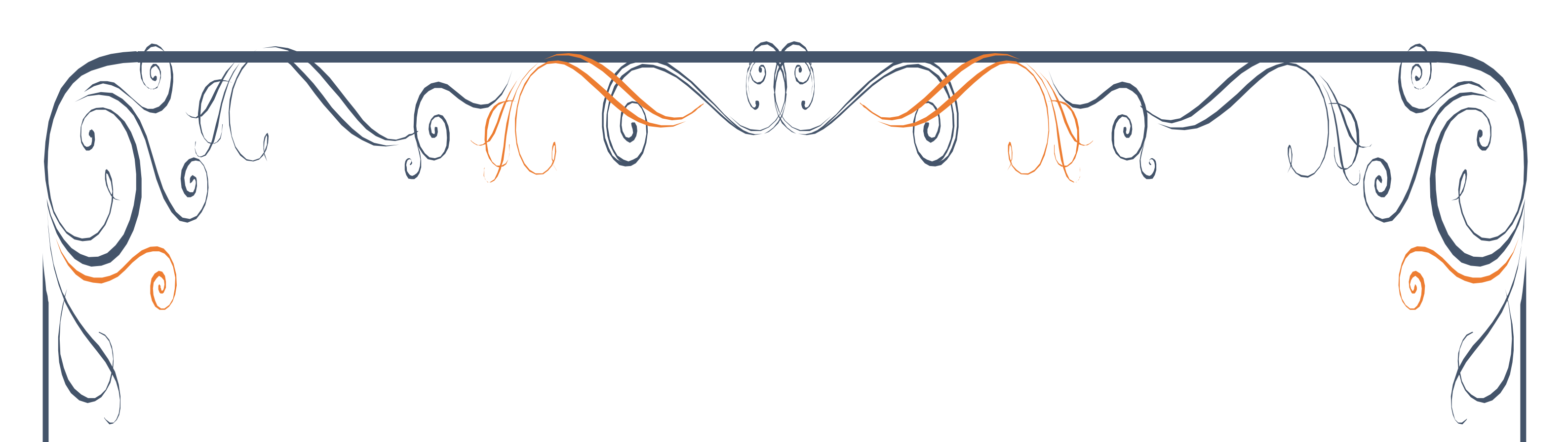


عند تأرجح ذراع التوصيل (1) بالنسبة للمكبس (2) تنقل الحركة عن طريق الغماز Pawl (3) إلى الترس المسنن من الداخل (4) والقابل للدوران والمزود ببـــروز معشق بقطع فى ياى حلقى (6) والمتصل مباشرة بالمكبس عن طريق أداة الوصل (7) وعندئذ تنقل قوة الدفع الممتصة بالياى الحلقى بالتساوى لتحريك المكبس .



Drive principle of rotating piston

شكل (١٤ ـ ١٣)



وأهم ما يتميز به هذا التصميم هو :

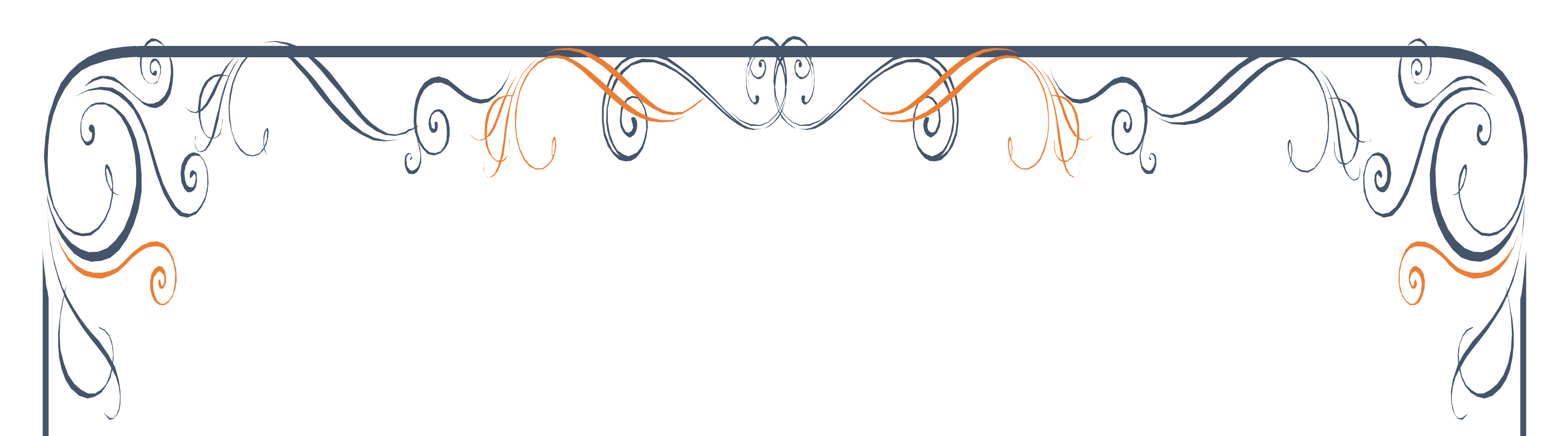
١. لكل مشوار يوجد وضع جديد للمكبس مع القميص مبلل بالزيت ، وهذا يمنع أى احتمال قفش المكبس .
٢. نتيجة دوران المكبس بالحلقات ، يمكن تجنب ارتفاع درجة الحرارة لأى نقطة من سطح القميص نتيجة هروب الغازات .
٣. دوران الشنابر يحسن التزييت وعملية الإحكام ، كما يقلل معدل البرى بل ويجعله منتظم .
٤. حيث أن المحمل العلوى لذراع التوصيل من النوع الكروى ، فيعمل المكبس دائماً على تعديل وضعه ، ويمنع تركيز الضغط على البنز .
٥. يقلل معدل استهلاك الزيت (أقل من ١جم / كيلووات ساعة)

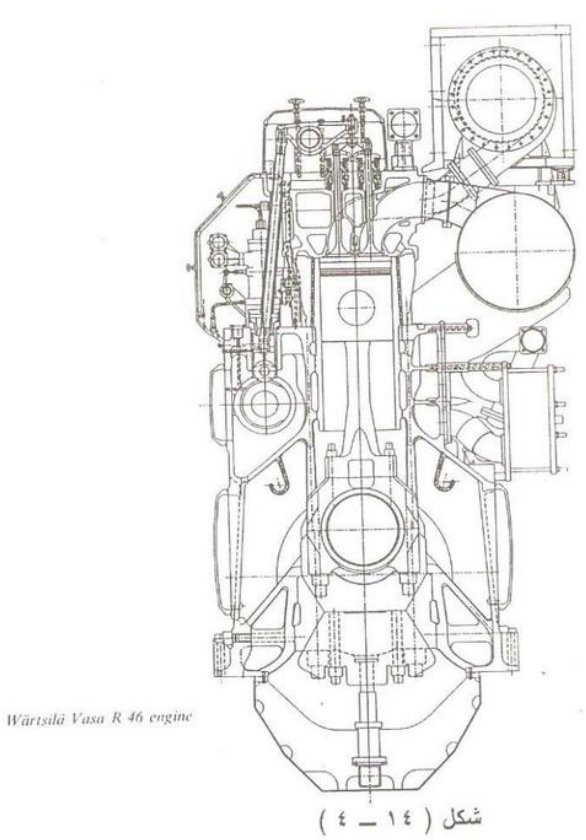
- ويبرد هذا المكبس بالزيت الذى يدخل عن طريق ثقب بذراع التوصيل ، وتعطى عناية خاصة لتبريد منطقة الشنبر الأول من الداخل ، حتى تكون درجة الحرارة مناسبة .
- تصنع الشفة العلوية للقميص بسمك أكبر لتحمل الضغوط العالية ويتم التبريد بعمل الثقوب Bore – cooling للمحافظة على درجة الحرارة وطبقة الزيت ، وتخلق ظروف تشغيل مناسبة .

١٤ – ٧ – ٣ المحرك الديزل Wartsila VASA 46

الشكل (١٤ – ٤) يوضح هذا المحرك ، وهو محرك متوسط السرعة ، جزعى رباعى الأشواط ، صمم خصيصاً ليعمل بكفاءة على الوقود منخفض الجودة . ويتأتى ذلك باستخدام طريقة الحقن المرشد Pilot-injection ، الذى يتيح الحصول على الاحتراق الجيد بالرغم من رداءة الوقود ، هذا علاوة على زيادة نسبة الانضغاط .

قطر الاسطوانه ٤٦٠ مم ، المشوار ٥٨٠ مم ، السرعة ٤٥٠ – ٥٠٠ لفة / دقيقة ، وينتج على شكل صف واحد لغاية ٩ اسطوانات ، أو على شكل V لغاية ١٦ اسطوانه .



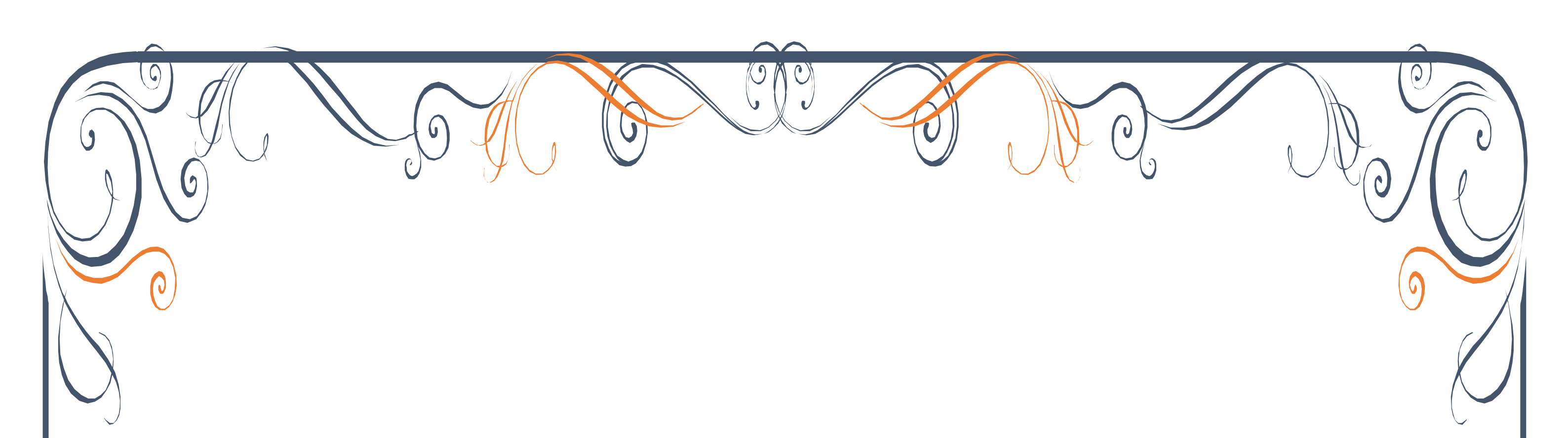


شكل (١٤ ــ ٤)

وتعتمد المتانة الأساسية للمحرك على الجسم المصبوب قطعة واحدة من سبائك حديــد الزهر المخصوص،الذى يحتوى على الهيكل ومبيت عمود الكامات ومعظم صندوق المرفق .

غطيان المحامل الرئيسية التى تحمل عمود المرفق المعلق تثبت بواسطة مسامير شــد هيدروليكية . القمصان مصنعة من حديد الزهر الرمادى وتبرد بواسطة ثقوب تبريد خاصة bore-cooled ، ثم تتجه مياة التبريد الرئيسية إلى رأس الاسطوانة والذى يتيح التبريــد الجيد لقواعد الصمامات وحواقن الوقود .

يوجد صمامين للعادم وصمامين للهواء لكل وحدة ، وتزود جميع الصــمامات بــأجهزة تدوير roto-caps ، صمامات العادم مغطاة بطبقة ستيليت والقواعدمن الصلب المقسى .



يثبت الحاقن الرئيسى بمنتصف الرأس ، ويغذى عن طريق ممر خاص بالرأس ، أما الحاقن الثانوى فيثبت بمبيت خاص فى واجهة الرأس ويميل بزاوية ٤٥° .

المكبس يتكون من جزئين : التاج ويصنع من الصلب ، وعليه شنبرين ضغط وشنبر زيت ، أما الجزء فيصنع من حديد الزهر الخاص ، يتم تبريد المكبس من زيت النهاية العليا ، السطح الداخلى للمكبس مزود بثقوب تتيح التبريد الكفء للمكبس . يتكون ذراع التوصيل من ثلاث أجزاء حيث يسمح بصيانة المكبس أو المحمل دون المساس بالآخر .

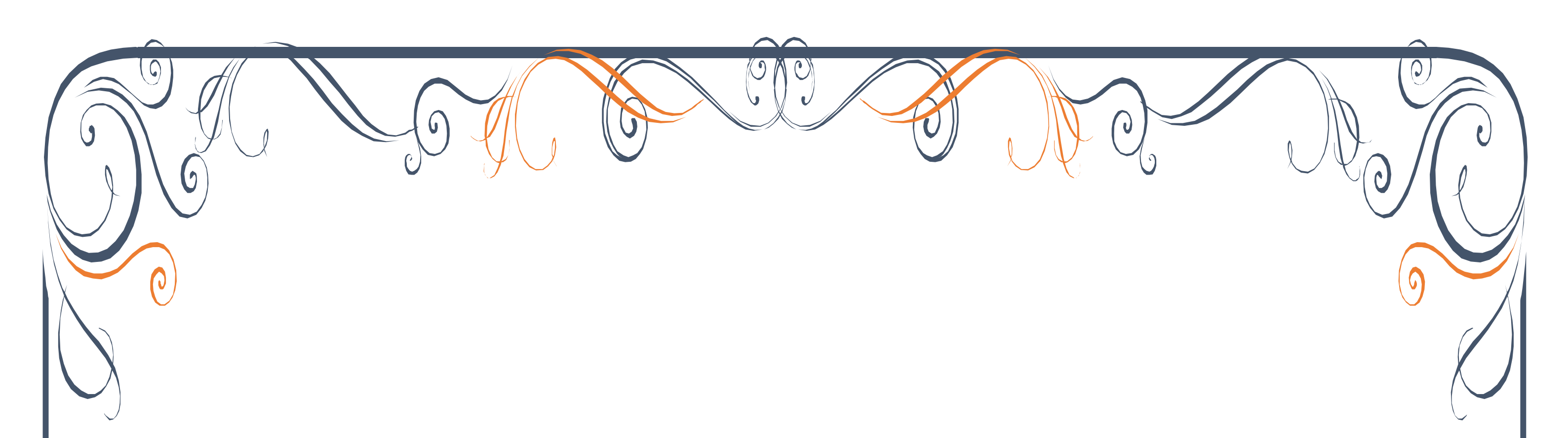
ولزيادة القدرة اتجهت الشركة لإنتاج المحرك الديزل Wartsila 64 بالمواصفات التالية :

- القطر ٦٤٠ مم .
- المشوار ٩٠٠ مم .
- قدرة الاسطوانة ٢٠١٠ ك.وات عند ٣٣٣ لفة /دقيقة .
- السرعة المتوسطة للمكبس ١٠ متر /ث .
- الضغط المتوسط الفعال ٢٥ بار .
- أقصى ضغط ١٩٠ بار .

وعليه يمكن الحصول على قدرة تزيد عن ٣٦٠٠٠ كيلووات من المحرك V-18 والذى يفى بالقدرة الدافعة لجميع أنواع السفن بمختلف الحمولات (محطة ذات محرك مفرد أو ذات محركين) .

وبالرغم من زيادة الضغط المتوسط الفعال والسرعة المتوسطة للمكبس ، فإن معدل البرى لأسطح القميص والشنابر فى الحدود المناسبة ، وذلك بتغطية الأسطح بالخزف Ceramic بطريقة البلازما Plasma-coating .

وقد تعدت الكفاءة الحرارية لهذا المحرك ٥٠% ، أما كفاءة المحطة ككل Plant-efficiency فقد زادت عن ٥٧% ، وذلك باستعادة الحرارة المفقودة بالعادم ، واستخدام المولد التوربينى .



١٤ ــ ٧ ــ ٤ المحرك الديزل "مان" المتوسط السرعة

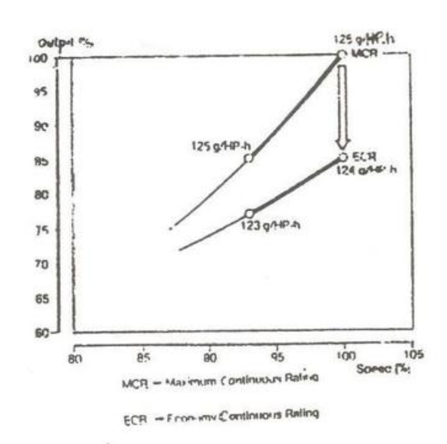
M.A.N. Medium-speed engine L 58/64

المواصفات الرئيسية :

القطر		٥٨٠ مم .
المشوار		٦٤٠ مم .
عدد الوحدات من		٦ : ٩
أقصى أداء مستمر		١٦٥٠ حصان / للاسطوانه .
الأداء الاقتصادى		١٤٠٠ حصان / للاسطوانه .
السرعة		٤٢٨ لفة / دقيقة .
السرعة المتوسطة للمكبس		٩,١ متر / ثانية .
الضغط المتوسط الفعال		٢١,٥ / ١٨,٣ بار .
ضغط الاحتراق		١٤٥ بار .
ضغط حقن الوقود		١٢٠٠ بار .
م.ن.أ.و. عند :	١٠٠%	٨٥% حمل
MCR	١٢٨	١٢٥ جم / حصان . ساعه .
ECR	١٢٤	١٢٣ جم / حصان . ساعه .
نوع الوقود		٧٠٠٠ ثانية ريدوود ١ عند ٣٨° م .

والشكل (١٤ ــ ١٥) يوضح أن م.ن.أ.و يصل إلى ١٢٣ جم / حصان . ساعة عند التشغيل على ٨٥% من E.C.R بظروف ISO ، وهذا يعتبر حدث تاريخى بالنسبة لمحركات الديزل متوسطة السرعة .





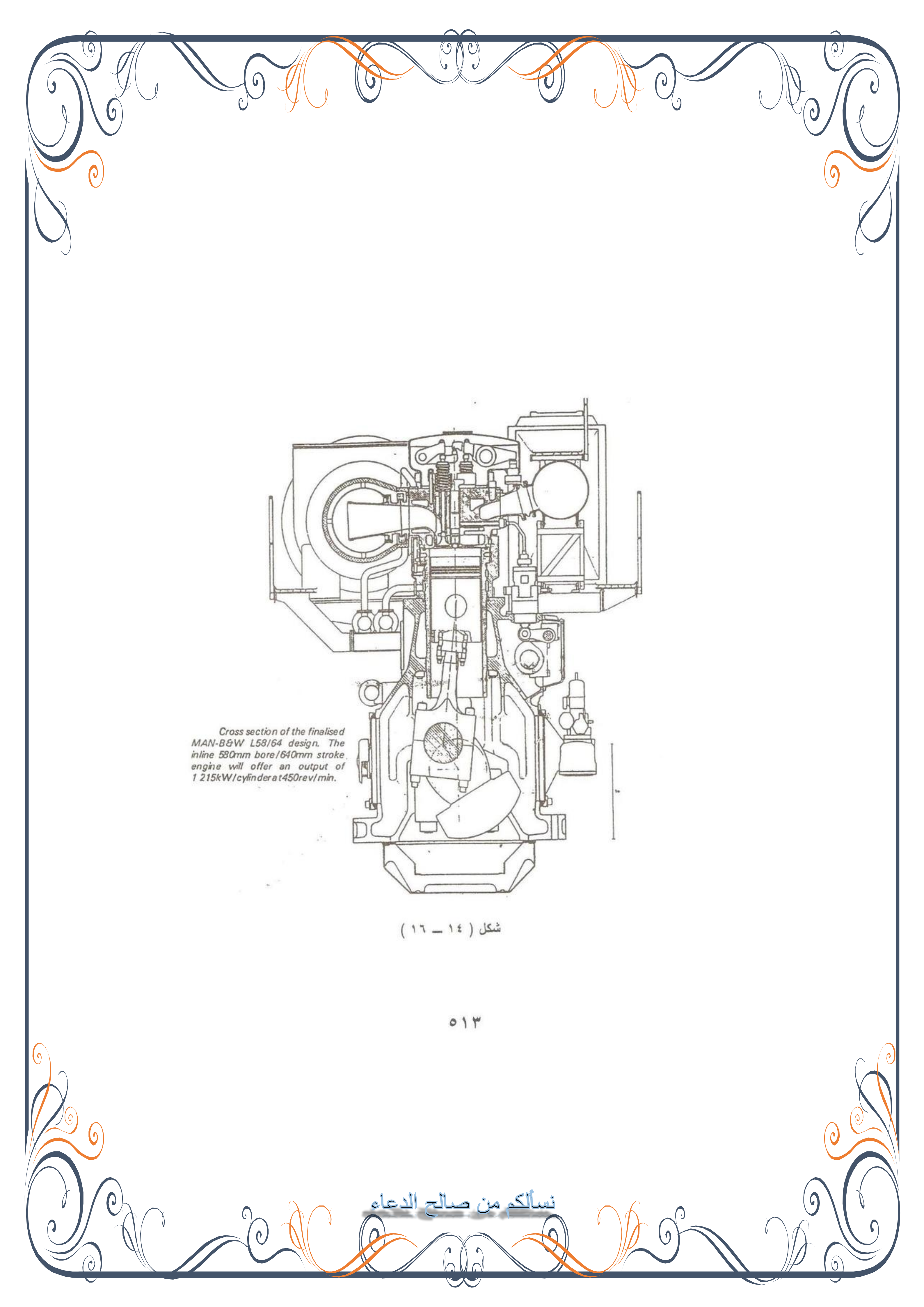
شكل (١٤ ــ ١٥)

<u>وصف المحرك :</u>

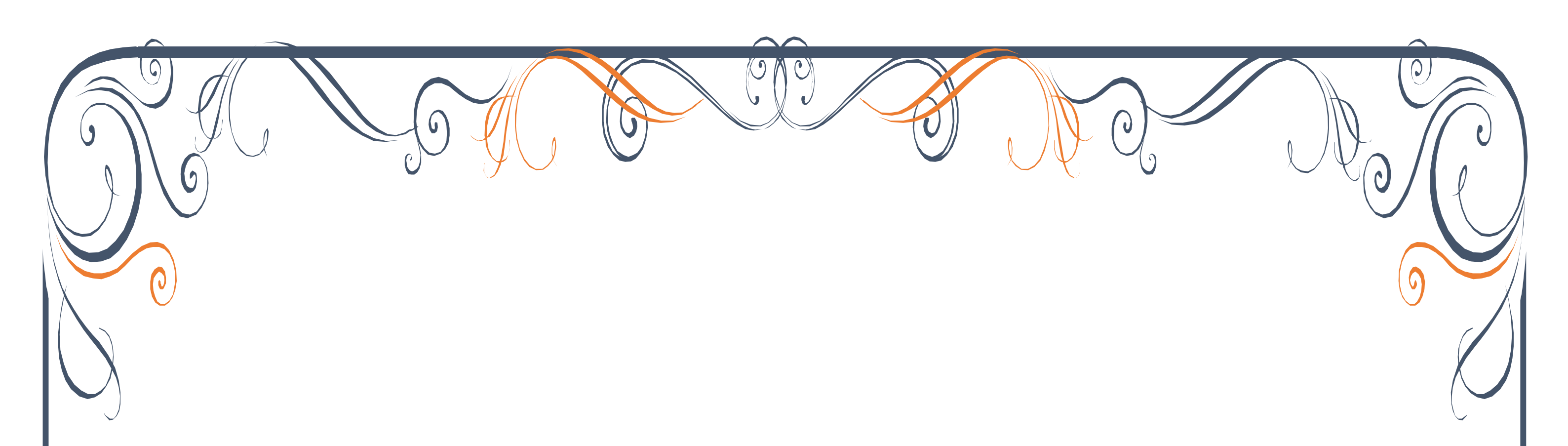
الشكل (١٤ ــ ١٦) عبارة عن مقطع فى المحرك ، الهيكل عبارة عن جزء واحد ثابت وعمود المرفق معلق من أسفل ، وهذا التصميم يضمن الاتزان وعدم التأثر عند حدوث أى تشوه لبدن السفينة .

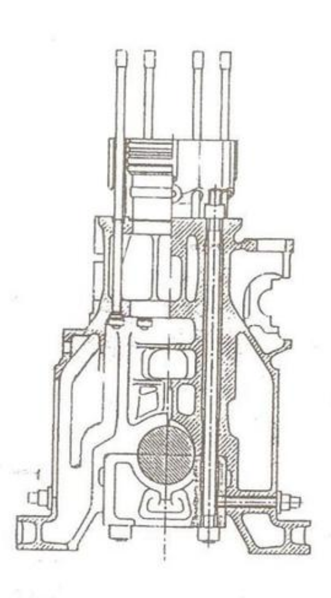
جسم كل اسطوانة مستقل ويتميز هذا التصميم بعدم تأثر جلبة الاسطوانة بتشوه بــدن السفينة ، كما يضمن ذلك سلامة تشغيل المكبس فى الاسطوانة ، بالرغم من تقليل خلوص المكبس ، وهذا هو المطلب لتقليل البرى عند التشغيل على الأنواع الرديئة من الوقود .

تمتد مسامير الشد من أعلى الهيكل إلى كراسى عمود المرفق من أسفل ، أما مســـامير رأس الاسطوانة فتمتد إلى الهيكل شكل (١٤ ــ ١٧) وهذا التصميم يخفف الاجهادات أثناء التشغيل ويسهل اعمال الصيانة .

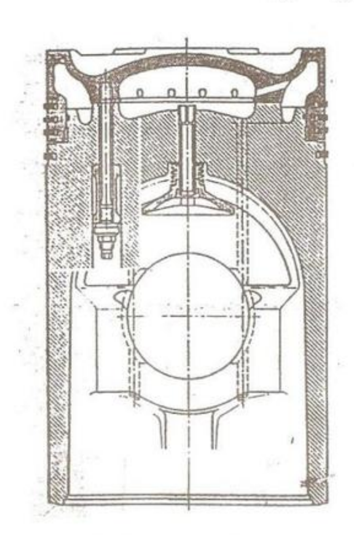

Cross section of the finalised MAN-B&W L58/64 design. The inline 580mm bore/640mm stroke engine will offer an output of 1 215kW/cylinder at 450rev/min.

شكل (١٤ ــ ١٦)



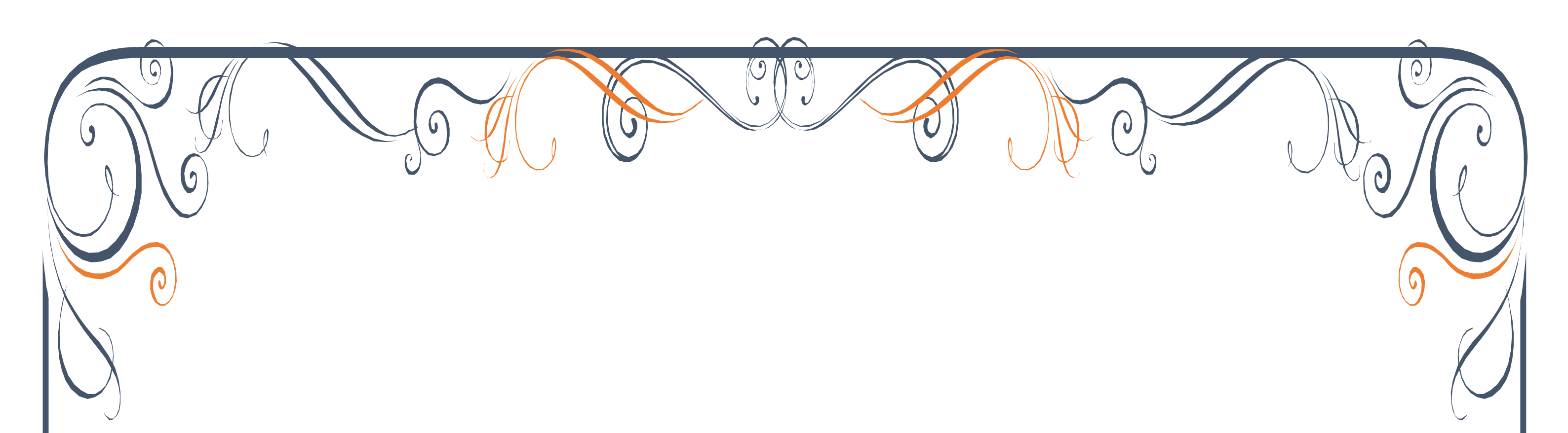


شكل (١٤ ــ ١٧)

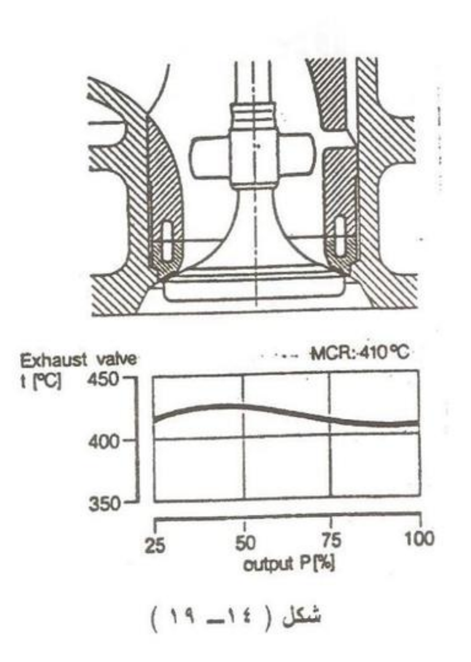


شكل (١٤ ـ ١٨)

يصنع المكبس شكل (١٤ ــ ١٨) من جزئين التاج من الصلب المطروق ، أمـا الجـزء مـن سبائك الألمونيوم ، ويتم صلد مجارى الشنابر ، يغطى الشنبر الأول بالبلازما plasma-coated بينما تطلى باقى الشنابر بالكروم ، ويتم تبريد المكبس بالزيت . للحصول على أفضل ظروف تشغيل للاسطوانه مع ضمان عدم تآكل القميص عند الجـزء الأسـفل نتيجة انخفاض درجة الحرارة فى حالة التشغيل عند الأحمال الجزئية ، يتم تبريد الجزء العلوى فقـط ، وقد أعطى ذلك انحدار حرارى متزن بطول جـدار القميص .



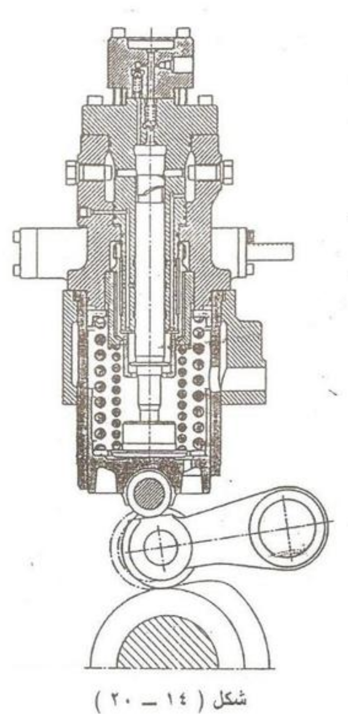
تبرد قواعد صمامات العادم بكفاءة لضمان عدم حدوث ظاهرة التآكل عند درجات الحرارة المرتفعة (٥٥٠° م) ، ويتضح من شكل (١٤ــ ١٩) أن درجات الحرارة فى حدود ٤٢٥° م فقط . ويتم دوران عمود الصمامات بتأثير غازات العادم على ريش المروحة المثبتة بالعمود ، وتتميز هذه الطريقة بالبساطة وتمام نظافة القاعدة حيث أن عمود الصمام يدور وهو ملامس للقاعدة بعكس الطريقة الميكانيكية التى يدور فيها العمود فقط وهو فى وضع الفتح . أما صمامات الهواء فلا تبرد ولكن يتم دوران أعمدتها بواسطة Roto-cap .



شكل (١٤ــ ١٩)

تتميز منظومة حقن الوقود بالضغط العالى الذى يصل إلى ١٢٠٠ بار . وقد أدى ذلك إلى تحسين الاحتراق . والشكل (١٤ ــ ٢٠) لطلمبة حقن الوقود ، وتزود بصمام تصريف لمعادلة الضغط فى المنظومة لجميع الاسطوانات بعد كل مشوار طرد ، وهذا يمنع تذبذب الضغط فى المنظومة وما له من آثار جانبية مثل حدوث التكهف والحقن المتأخر .



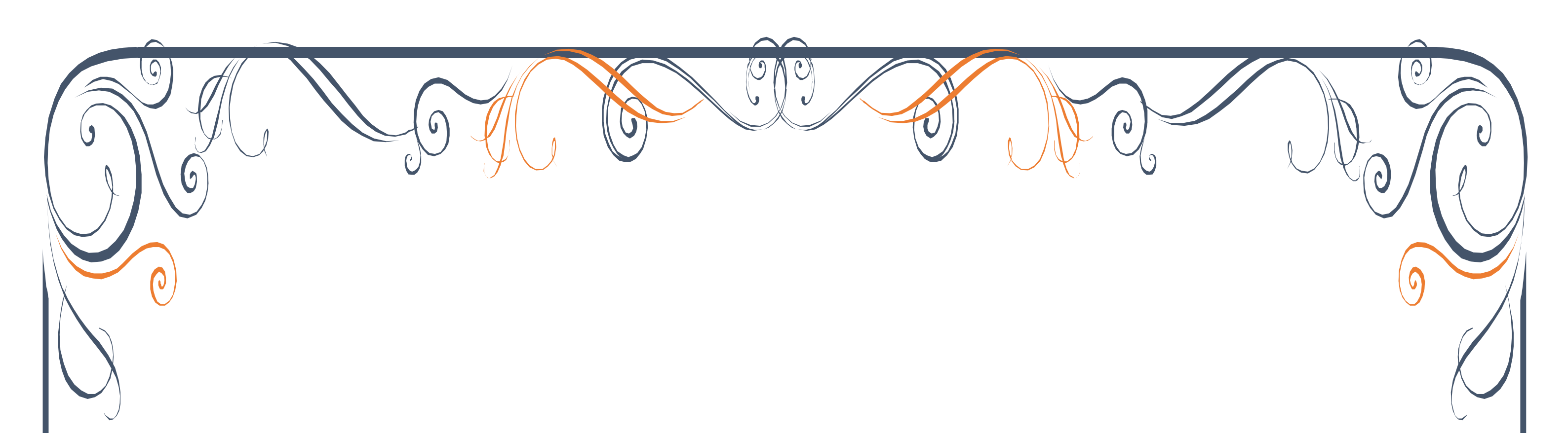


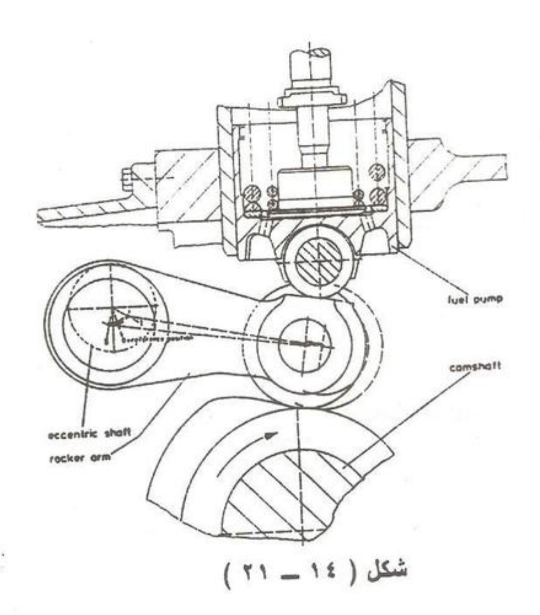
شكل (١٤ ــ ٢٠)

تزود الطلمبة بآلية ضبط لمواجهة الأنواع الرديئة من الوقود (شكل ١٤ ــ ٢١) ويتم بواسطتها تغيير توقيت الحقن (تقديم أو تأخير) لضبط ضغط الاحتراق فى حدود ± ١٥ بار.

وهذه الآلية تكيف المحرك ليس فقط لنوع الوقود ، ولكن أيضاً بالنسبة للظروف المحيطة المختلفة .

ويتم هذا الضبط حالياً يدوياً ولكن يمكن جعله (مستقبلاً) آلياً بواسطة استخدام أجهزة استشعار لضغط ودرجة حرارة الاحتراق .



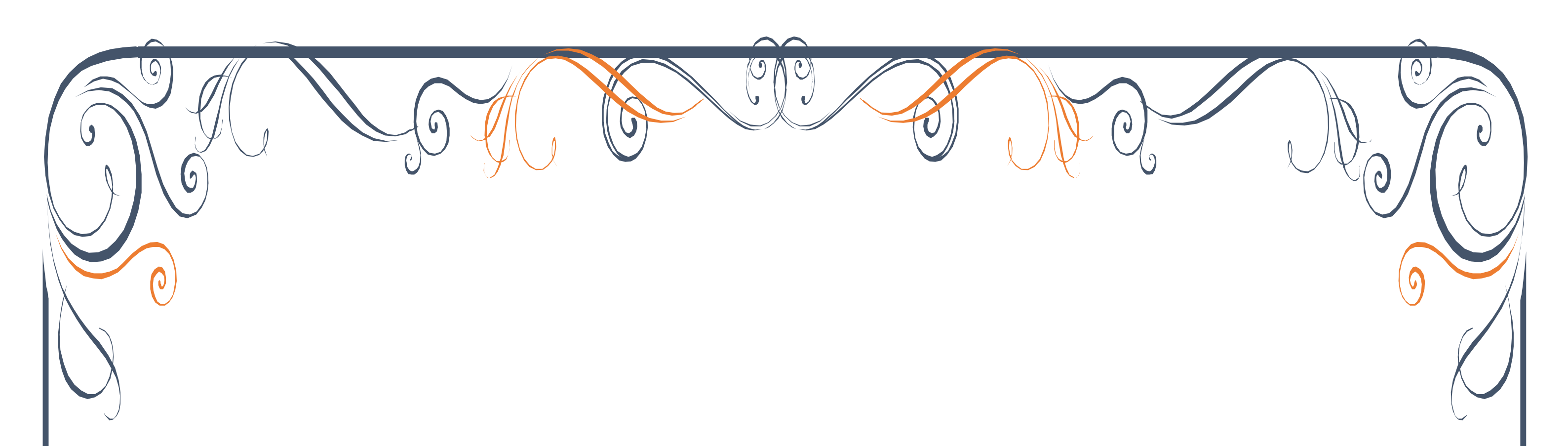


شكل (١٤ ــ ٢١)

(١٤ ــ ٧ ــ ٥) بعض الاعتبارات الأساسية لتقليل استهلاك الوقود :

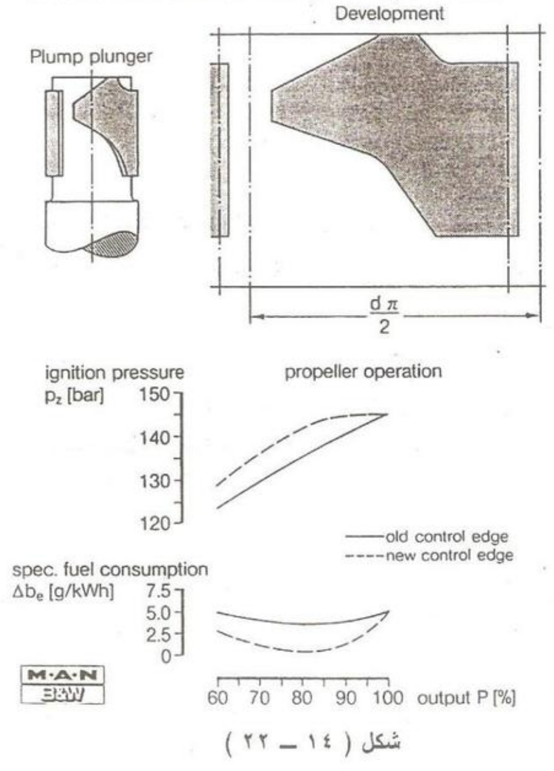
لزيادة الكفاءة الحرارية للمحرك وتقليل المعدل النوعى لاستهلاك الوقود ، الآتــى بعــد بعض الاعتبارات الإيجابية ، وقد تم اســــتخدامها فى المحرك الديزل المتوسط السرعة L 85/64 وهى :

١. لإمكان حرق الوقود الثقيل ذات الرقم السيتينى المنخفض بسرعة وكفاءة يلزم زيادة نسبة الانضغاط فيتبعها زيادة الضغط ودرجة الحرارة عند نهاية شــوط الانضغاط .
٢. رفع معامل الهواء الزائد فى الاسطوانه ، ويتوافر ذلك باســتخدام الشــواحن التوربينية ذات الكفاءة العالية ونظام الضغط الثابت لخروج غازات العادم .
٣. رفع ضغط الحقن يؤكد الحصول على التذرير المناسب الذى يؤدى إلى خلــيط جيد بين الوقود والهواء ويعتبر بدوره أساسى لجودة الاحتراق .
٤. مراعاة ملاءمة ميل ثقوب فونية الحاقن مع شكل غرفة الاحتراق للحصول على أفضل احتراق .

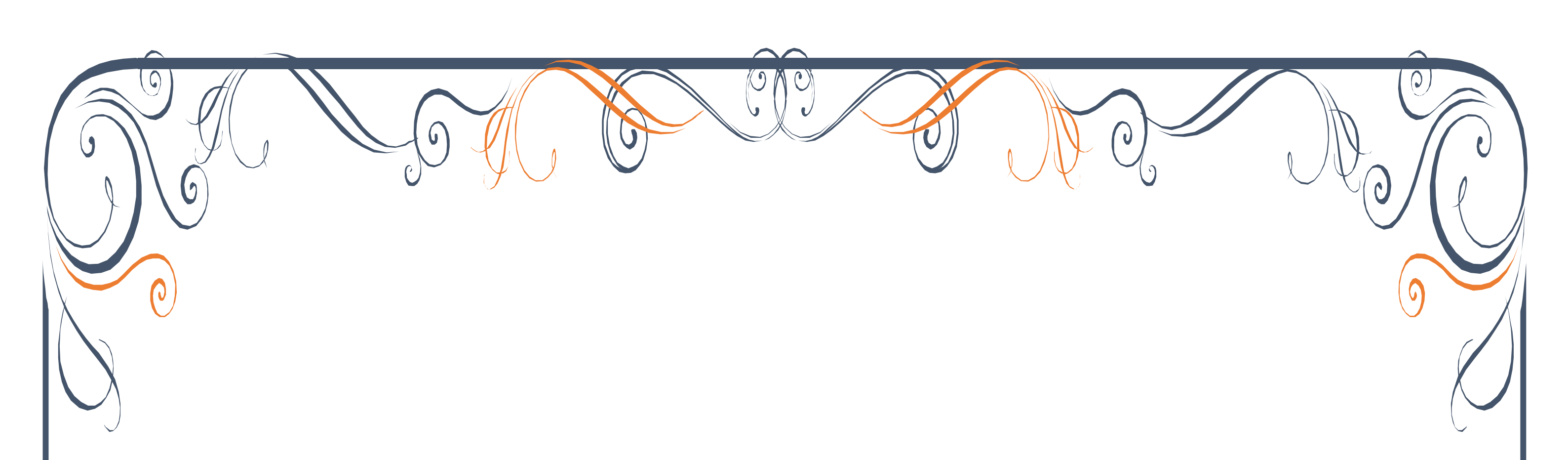


٥. تقليل فترة الحقن نسبيا يعتبر شرط لتقليل استهلاك الوقود مع توفير الوقت الكافي لإتمام احتراق الوقود بالدورة .

٦. استخدام طلمبة حقن بكباس ذات مجرى بشكل خاص ، ولها حافتين للتحكم : علوية وسفلية شكل (١٤ ــ ٢٢) بواسطتها يمكن الحصول على نسبة عالية بين ضغط الاحتراق والضغط المتوسط الفعال $\frac{P_{max}}{P_m}$ كذلك تستمر قيمة ضغط الاحتراق عند الحمل الكلى ثابتة بالرغم من التشغيل عند ٨٥% حمل،ويؤدى ذلك إلى تقليل استهلاك الوقود كما يتضح من الشكل .



شكل (١٤ ــ ٢٢)



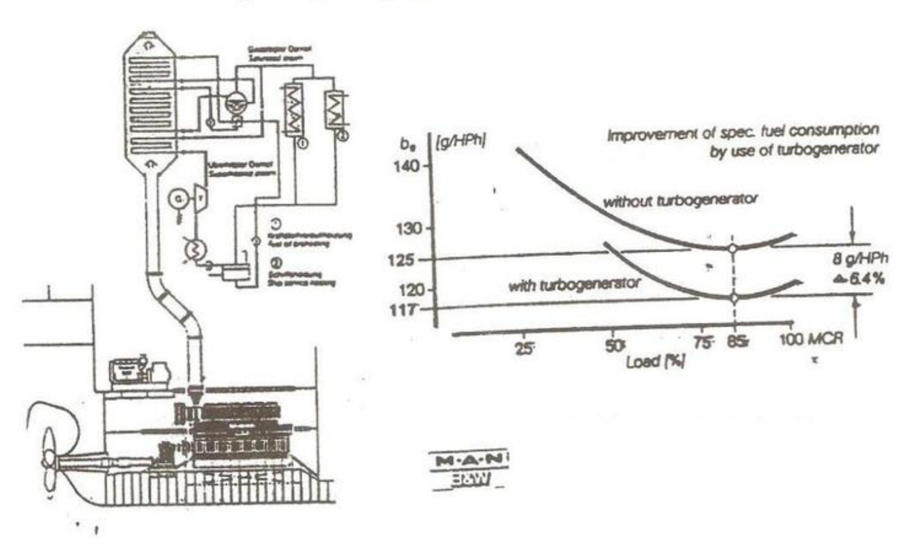
ونتيجة لما سبق فإن م.ن.أ.و. فى المحرك L5 8/64 قد قل بحوالى ١٧% عمــا كــان عليه منذ عشرة سنوات ، أى من ١٤٠ جم /حصان. ساعة إلى ١٢٣ جم /حصان. ساعة.

وتستخدم مع هذه المحركات الشواحن التوربينية الغير مبردة وذات الكفــاءة العاليــة ، فتعطى كمية هواء كافية عند جميع مراحل التشغيل ، وتوافر الطاقة فى غازات العادم يتيح استعادة الحرارة المفقودة بكفاءة .

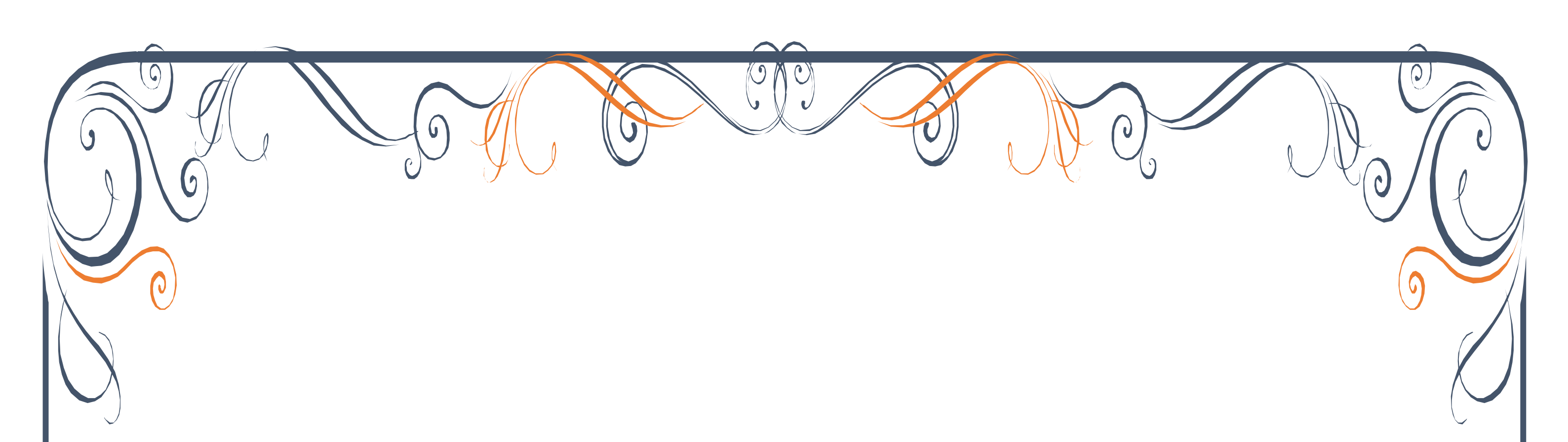
١٤ ــ ٧ ــ ٦ استعادة الحرارة المفقودة واستخدام المولد التوربينى

Waste-heat recovery and use of turbogenerator :

يمكن استعادة الطاقة من غازات العادم باستخدام المولد التوربينى شكل (١٤ ــ ٢٣) ويمكن توفير من ٣٥٠ إلى ٧٠٠ كيلووات طاقة كهربية تبعاً لعدد اســطوانات المحــرك ، ويؤدى ذلك على رفع الكفاءة الكليــة Overall- efficiency بحــوالى ٥:٦ % ، ويمكــن تغطية التكلفة الإضافية للغلاية والشاحن التوربينى فى مدة أربعة سنوات .



شكل (١٤ ــ ٢٣)



ملحوظـــــــة :

١. يمكن توليد الكهرباء من المحرك الرئيسى بواسطة Shaft - generators أثناء الإبحار وأحياناً فى الميناء ، تبعاً للوجهة الاقتصادية وبذلك يمكن الاستغناء عن مولد ديزل .

٢. يمكن الحصول على أعلى كفاءة دفع باختيار أفضل سرعة للرفاص ، وقد أمكن رفع كفاءة الدفع بحوالى ٥,٥% . وإذا افترضنا أن الفقد فى تروس التخفيض ١,٥% فيكون الوفر الصافى ٤% مما يقلل معدل استهلاك الوقود بمقدار كبير.

٣. من عيوب المحركات الديزل المتوسطة السرعة ، عبء الصيانة وخاصة فـى المحركات العديدة الاسـطوانات ، ولكن يتميز المحرك L 58/64 بزيادة القدرة وقلة عدد الوحدات ، مما تغلب على هذا العيب ، علاوة على ذلك فقد اتخـذت الاعتبارات لزيادة فترات الصيانة إلى حد كبير للأجزاء الرئيسية للمحرك بحيث وصلت على سبيل المثال إلى حوالى ١٠,٠٠٠ ساعة لصمامات العادم .

أسـئلة

١. أذكر مزايا وعيوب محركات الديزل متوسطة السرعة بالمقارنة بالمحركات بطيئـة السرعة .

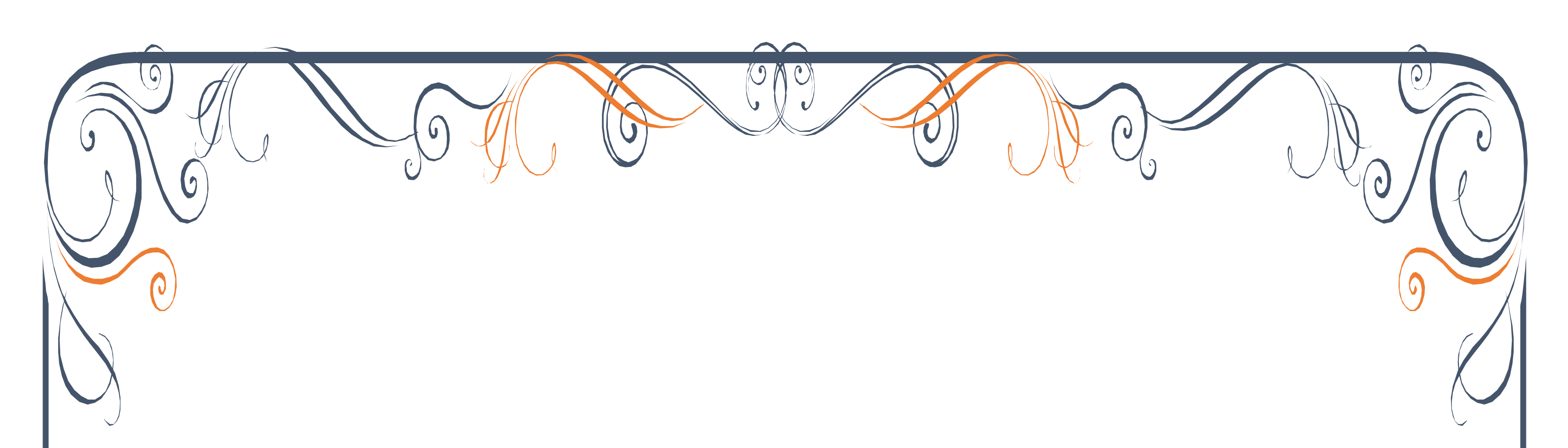
٢. أرسم منظومة لمحطة دفع مكونة من محركين ديزل متوسط السرعة ، ومتصلـين بعمود رفاص واحد موضحاً عليه القوابض والوصلات .

٣. وضح أسباب تركيب وصلة مائعة على محركات الديزل المتوسطة السرعة ، ارسـم وأوصف إحداها .

٤. أرسم تخطيطاً وأوصف مجموعة تروس تخفيض بين محـركين متوسـط السـرعة والرفاص يمكن بواسطتها عكس الحركة .

٥. لماذا تستخدم طريقة الدفع الكهربى فى بعض أنواع السفن ؟ أذكر بعض أنواع هذه السفن . تكلم عن أنواع الدفع الكهربى ومزايا كل منها .

٦. تتميز محركات الديزل متوسطة السرعة (سولزر) باستخدام المكبس الدوار ، أعط فكرة مبسطة عن هذا التصميم ، واذكر المزايا المكتسبة من ورائه .



الباب الخامس عشر

التشغيل الآلى Automation

١٥ ـ ١ مقدمـــة Introduction

بدأ تطور عمليات التشغيل الآلى مع بداية معرفة الإنسان بالآلات المحركة ، ويعتبر حاكم السرعة لآلة وات البخارية Watt-governor من أول التطبيقات العملية للتحكم (١٧٨٨) ومع بداية الحرب العالمية الثانية بدأ علم التحكم والتشغيل الآلى يتخذ أبعاداً جديدة ترجمت إلى العديد من الأنظمة المعقدة للتحكم والتى كانت تعمل هيدروليكياً أو بالهواء المضـــغوط Pneumatic . ومع التقدم الهائل فى علوم الالكترونيات فى السنوات الأخيرة ازدادت عجلة التطور فى هذا المجال إلى حد استخدام الحاسبات الالكترونية الرقمية فى عمليات المراقبة وتسجيل البيانات والتحكم على ظهر سفن الناقلات العملاقة وبعض السفن التجارية الأخرى.

١٥ ــ ١ ــ ١ مزايا التحكم الآلى :

١. توفير الوقود بسبب التشغيل الكفء للماكينات .
٢. تخفيض أعمال الصيانة نظراً لزيادة كفاءة التشغيل .
٣. سرعة تلبية عدة متطلبات فى وقت واحد مع تشغيل الآلات التبادلية عند الضرورة.
٤. توفير العمالة مما يؤدى إلى خفض نفقات التشغيل .
٥. تحسين جو العمل بانتقال أطقم الخدمة إلى غرف مراقبة مكيفة الهواء .
٦. زيادة الأمان وإعطاء إنذار فى الوقت المناسب .

١٥ ــ ١ ــ ٢ : عيوب التحكم الآلى :

يمكن القول بأن زيادة التكلفة هى العيب الأساسى لإدخال أنظمة التشغيل الآلى على ظهر السفن وتتضمن زيادة التكلفة البنود التالية :

١. تكلفة ابتدائية (أجهزة تحكم ــ مكونات ومعدات دقيقة وغالية الثمن ــ عمالة فنية ماهرة ــ مستوى مرتفع للتصميم) .



٢. تكلفة التأمين .

٣. تكلفة التشغيل (طاقة إضافية ــ تدريب الطاقم ــ صيانة إضافية) .

١٥ ــ ١ ــ ٣ : وسائل تخفيض عدد الطاقم :

أ ــ طاقم السطح :

١ــ استخدام وسائل متطورة للشحن والتفريغ للحاويات وتشغيل مضخات البترول عن بعد للناقلات .

٢ــ الرباط الآلى للسفينة بالاستعانة بدوائر التليفزيون المغلقة .

٣ــ استخدام أنظمة المسح الرادارى للإنذار المستمر .

٤ــ أجهزة الإنذار بالحريق ووحدات الإطفاء الأتوماتيكية .

ب ــ طاقم الماكينات

١ــ التحكم عن بعد فى الماكينات من الممشى أو غرفة المراقبة .

٢ــ تسجيل البيانات ووحدات المسح الإنذارى للمتغيرات الرئيسية بالسفينة .

٣ــ تدريب الطاقم ليكون متعدد التخصصات .

٤ــ إدخال الدوائر التليفزيونية المغلقة بأماكن مختلفة بغرفة الماكينات لبيان الحالة العامة للآلات والأجهزة المساعدة والهامة .

٥ــ وحدات تنقية الزيوت ومحطات الغلايات الأوتوماتيكية .

١٥ ــ ١ ــ ٤ مستويات هندسة التحكم وتطبيقاتها : Levels of control engineering

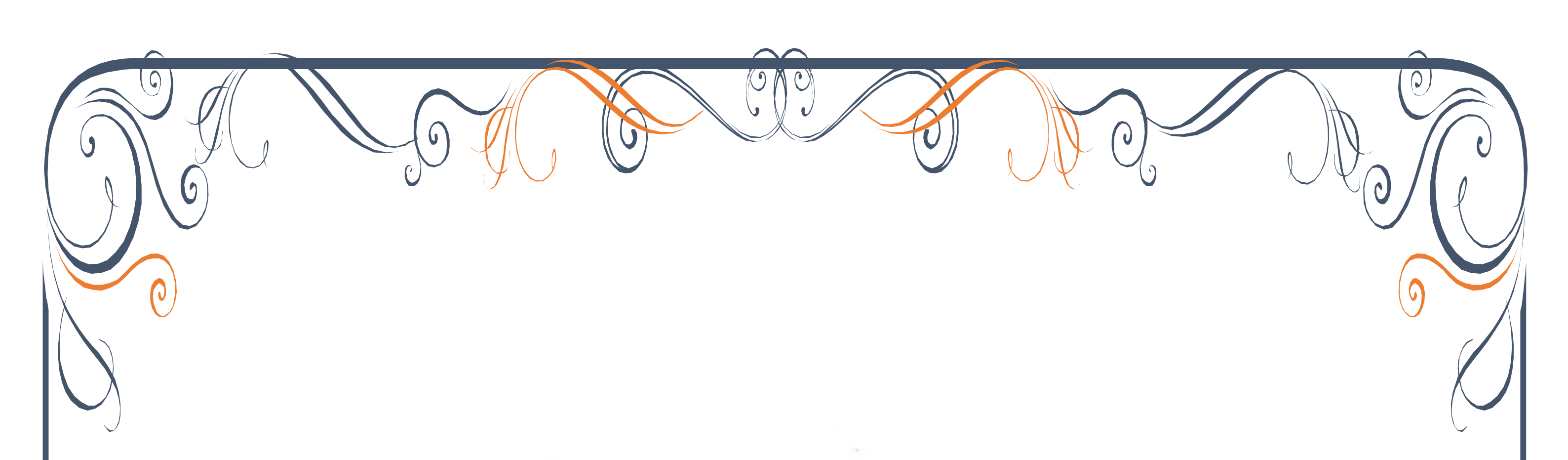
يمكن تقسيم الناحية التطبيقية لهندسة التحكم على ظهر السفن التجارية إلى أربعة مستويات رئيسية :

أ ــ أجهزة القياس المركزية بغرفة الماكينات : Centralization instrumentation

حيث يتم تجميع جميع أجهزة القياس لتوضع على لوحة مركزية أمام منصة المناورات وذلك بدلاً من توزيعها فى أرجاء غرفة الآلات مما يسهل عمل مهندسى الوردية .

ب ــ أنظمة التسجيل والبيان والإنذار : Data logging & alarm system

وهى الخطوة التالية حيث يتم نقل جميع أجهزة القياس إلى غرفة منفصلة يراقب من



خلالها مهندس النوبة حالة التشغيل الفعلى للماكينات بواسطة أجهزة مراقبة وتجميع وتسجيل ، علاوة على وحدات الإنذار التى تقوم بعملية المسح المستمر للمتغيرات الهامة بالسفينة بحيث تعطى إنذار صوتى وضوئى فى حالة تعدى الحدود المسموح بها كما تزود الغرفة بأجهزة تحكم عن بعد لبعض معدات غرفة الماكينات .

جـ ـ التحكم الآلى عن بعد : Remote control

يطبق هذا النظام مبدأ التحكم الآلى الكامل بحيث يمكن الاستغناء عن مهندس الوردية ليلا وذلك بإدخال أجهزة متقدمة للتسجيل والبيان والتحكم خلال الليل مع وجود وحدات مراقبة وإنذار عالية الكفاءة لإعطاء الإنذار إلى جميع الوحدات المعيشية فى حالات الطوارئ مع القدرة على التصرف فى بعض الحالات .

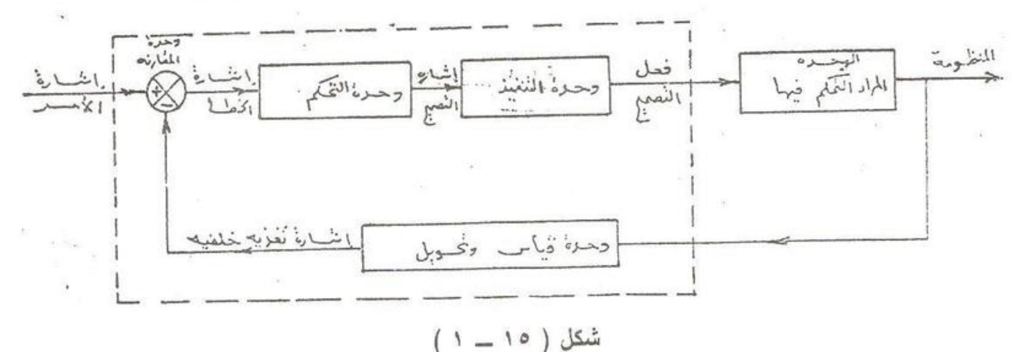
د ـ استخدام الحاسبات الرقمية : Use of Digital computers

نتيجة للتطور الهائل فى تكنولوجيا الحاسبات الرقمية ـ تم إدخال هذه الحاسبات على ظهر بعض السفن فى الآونة الأخيرة ـ وخاصة بالنسبة للناقلات العملاقة ـ وذلك بغرض القيام بأعمال مراقبة وتشغيل غرفة الآلات إلى جانب بعض أعمال الملاحة والمناورة والمراقبة بالرادار وأيضا بعض الأعمال الإدارية الخاصة بالشحنة .

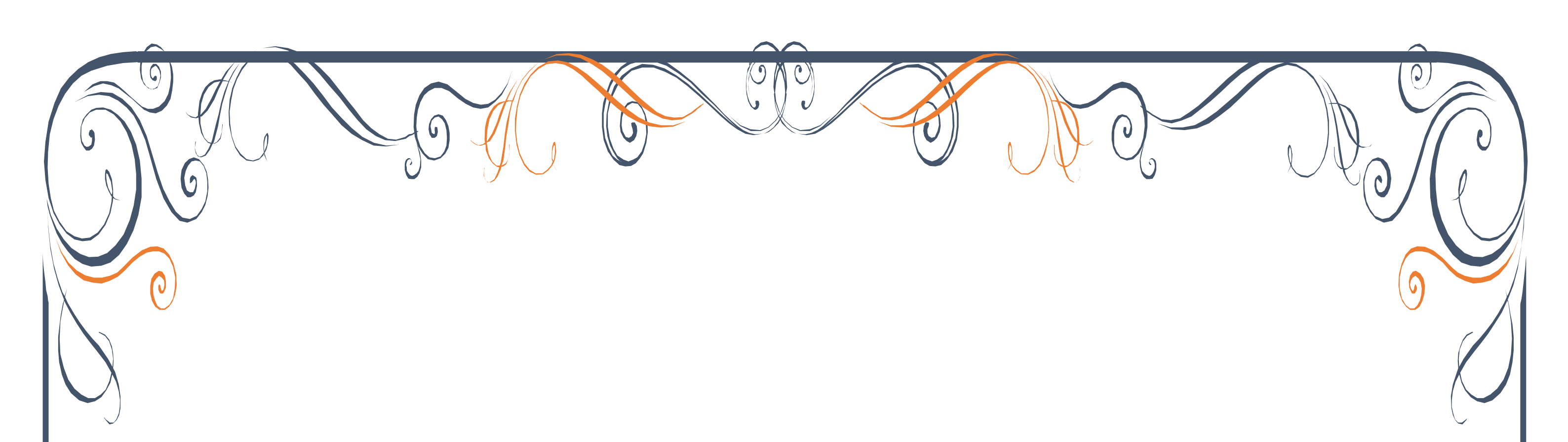
١٥ - ٢ تعاريف وتصنيف أجهزة التحكم

Definitions and classifications of control systems

يمثل الشكل (١٥ ـ ١) المكونات الأساسية لدائرة التحكم المغلقة بصورة عامة .



شكل (١٥ ـ ١)



و يمكن تقسيم وظائفها الأساسية إلى العناصر التالية :

١ــ القياس : حيث يتم قياس الخرج النهائى للمنظومة باستخدام أجهزة القياس والتحويل المناسبة ــ ويكون خرج وحدة القياس عادة إشارة هوائية أو كهربية يتم تغذيتها إلى وحدة المقارنة ويطلق عليها اسم إشارة التغذية الخلفية.

٢ــ المقارنة : وهى عملية طرح إشارة التغذية الخلفية من إشارة الأمر حيث يتم ترجمة الفرق بين الإشارتين إلى إشارة خطأ تغذى وحدة التحكم .

٣ــ الحساب : تقوم وحدة التحكم بعمل بعض العمليات الحسابية طبقاً لقانون التحكم الذى صممت علية يتبعه اتخاذ قرار بشأن كمية التصحيح اللازمة ليتساوى خرج المنظومة مع إشارة الأمر ــ وتقوم نفس الوحدة بإصدار إشارة التصحيح المناسبة لتغذى وحدة التنفيذ .

٤ــ تنفيذ الأوامر : عندما تتلقى وحدة التنفيذ إشارة التصحيح الصادرة من وحدة التحكم ــ تقوم بأداء فعل للتصحيح النهائى الذى يتمثل فى فتح صمام أو تشغيل محرك .... الخ . حيث يؤدى هذا الفعل إلى تغيير خرج المنظومة بالتدريج لكى يتساوى فى النهاية خرج المنظومة مع إشارة الأمر الصادر .

١٥ ــ ٢ ــ ١ : أنواع أنظمة التحكم Types of control systems

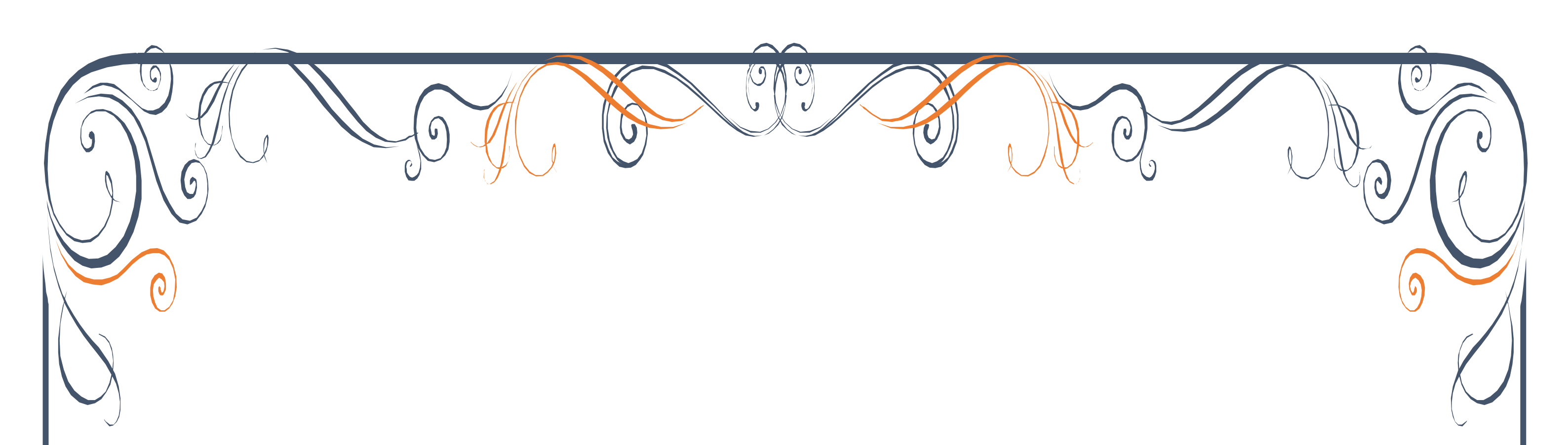
أولاً : نظام التحكم المفتوح : Open loop system

وفى هذا النوع من الأنظمة تنتقل إشارة الأمر مباشرة إلى وحدة التنفيذ دون وجود معلومات عن الخرج الحقيقى للمنظومة والذى يتمثل فى إشارة التغذية الرجعية ، ويستخدم هذا النظام فى التشغيل عن بعد لبعض الوحدات مثل فتح الصمامات أو رفع الأوزان .. الخ .

ثانياً : نظام التحكم المغلق : Closed loop system

ويتميز بوجود إشارة التغذية الخلفية التى تساعد على عملية الضبط الأتوماتيكى ويتمثل وجوده من الناحية التطبيقية فى نوعين :

أ ــ المنظمات : وهى منظومات تحكم مغلقة تكون فيها إشارة الأمر ثابتة بصفة دائمة ،



وتعمل وحدات النظام على الاحتفاظ بالخرج مساوياً لهذه الإشارة تحت كافة الظروف ، ومثال ذلك منظمات الجهد الكهربى مثلاً .

ب ـ أنظمة (السرفو) وهى المنظومات التي تتغير فيها إشارة الأمر طبقاً للحاجة ، ويعمل النظام لجعل الخرج النهائى للمنظومة مساوياً لإشارة الأمر ـ كما يحافظ النظام على هذا الخرج ثابتاً لحين إصدار أمر جديد ، وأمثلة ذلك التحكم فى السرعات ـ زاوية الدفه ...درجات الحرارة والضغط ومستويات السوائل .. الخ .

١٥ ـ ٢ ـ ٢ : قوانين التحكم : Control laws

يقصد بقانون التحكم الطريقة التى تتبعها وحدة التحكم لإصدار الأمر النهائى للتصحيح وذلك من حيث المعادلات الرياضية المستخدمة فى اتخاذ القرارات والمتغيرات التى تم أخذها فى الاعتبارلإيجاد العلاقة الرياضية بين الخطأ والتصحيح . ويمكن تقسيم طرق التحكم إلى مجموعتين رئيسيتين :

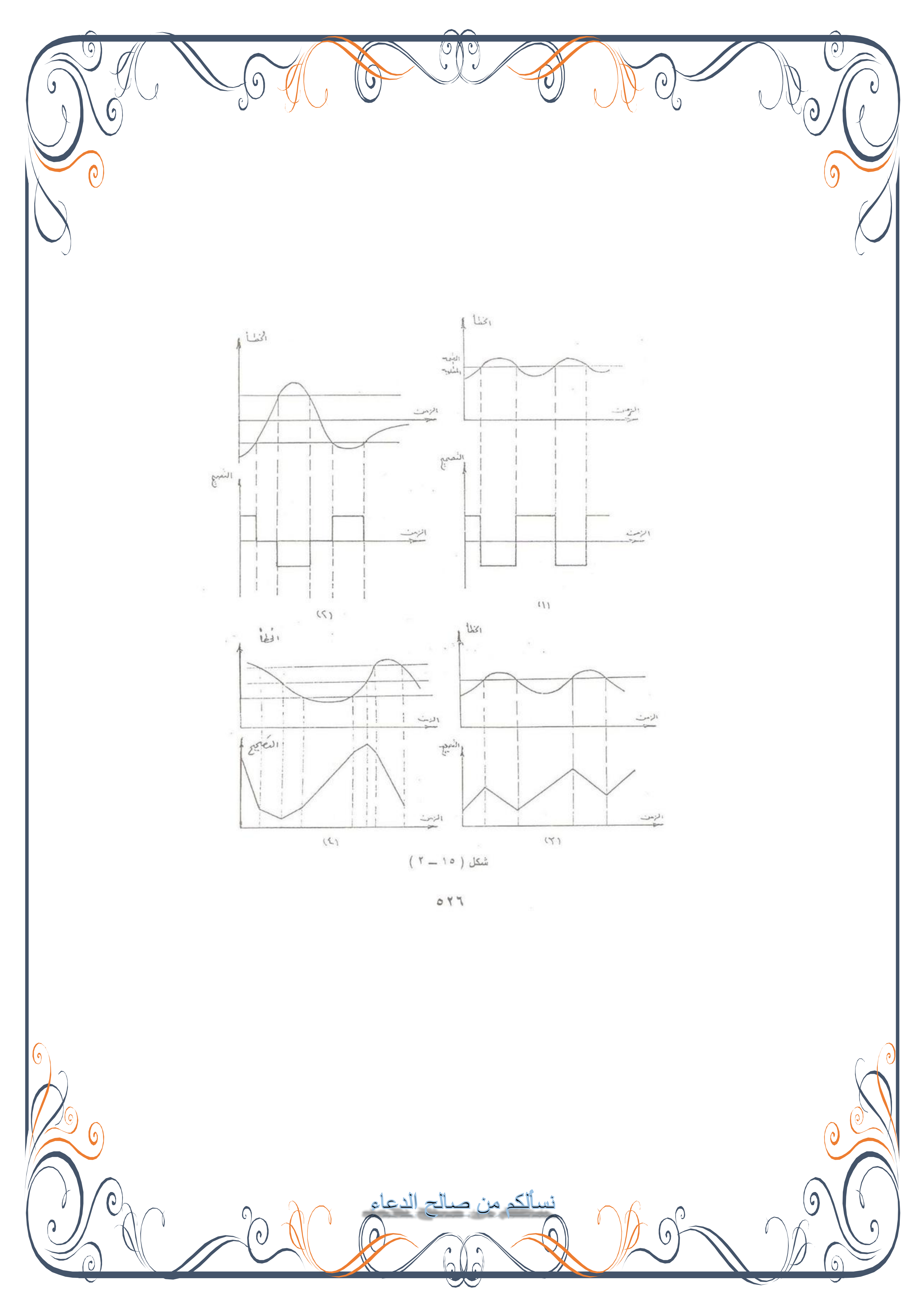
أ) طرق التحكم الغير خطية : Non-linear control methods

وتتميز هذه المجموعة ببساطة تركيب وحدة التحكم وقلة تكاليفها وذلك مقابل افتقارها إلى استقرار الأداء وسرعة الاستجابة . وأمثلة ذلك :

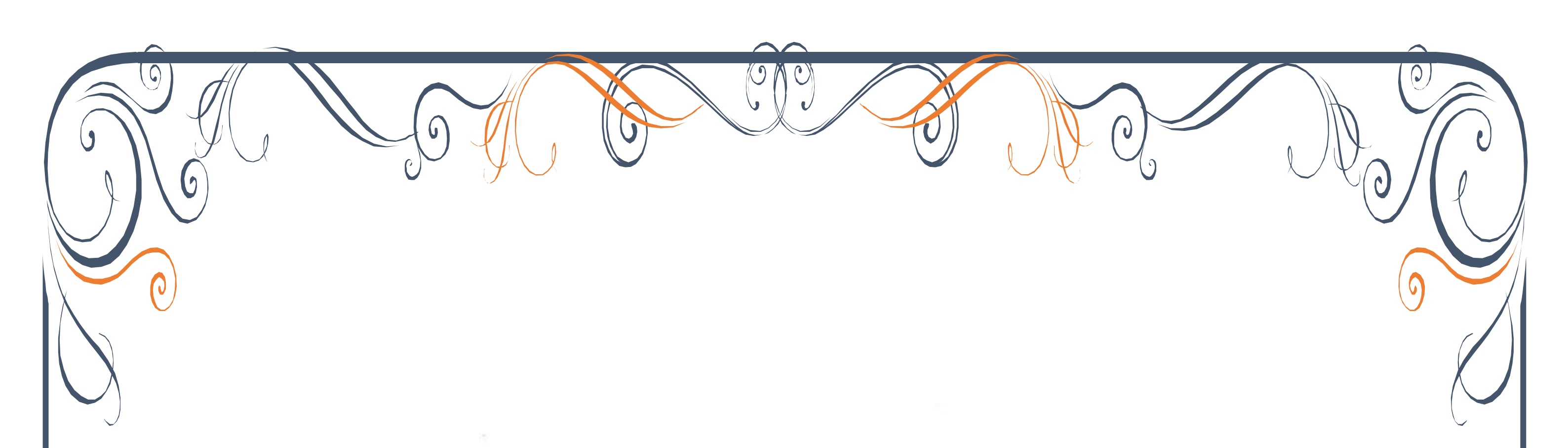
١ ـ نظام التحكم بخطوتين .	Two-step control .
٢ ـ نظام التحكم بعدة خطوات .	Multiplex control
٣ ـ نظام التحكم بسرعة واحدة .	Single speed floating control .
٤ ـ نظام التحكم بعدة سرعات .	Multi-plex floating control .

ويوضح الشكل (١٥ ـ ٢) العلاقة بين الخطأ والتصحيح لكل من الأنظمة السابقة





شكل (١٥ — ٢)



ب) طرق التحكم الخطية : Linear control method

١ ــ نظام التحكم بالتناسب Proportional control action

تتناسب إشارة الخرج فى هذا النظام تناسبا طرديا مع كمية الخطــأ أو الانحــراف. ويوضح الشكل (١٥ ــ ٣) نظام تحكم بسيط يعمل بالتناسب ، ومنــه يتضــح أن العلاقة بين الخطأ ε والتصحيح ϕ هو كالآتى :

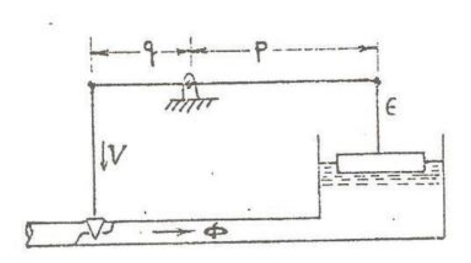
$$V = K_1 \varepsilon$$

$$\phi = C_1 V$$

$$\phi = -C_1 K_1 \varepsilon = -\mu \varepsilon$$

$$K_1 = \frac{q}{p}$$

ومنه يتضح أن كمية التصحيح ϕ تتناسب مع مقدار الخطأ ε ويمكن ضــبط معامــل التناسب بتغيير نقطة ارتكاز ذراع التناسب $\frac{p}{q}$.

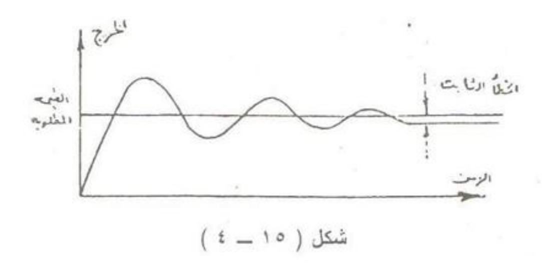


شكل (١٥ ــ ٣)

الخطأ الثابت Offset

يعتبر العيب الرئيسى فى نظام التحكم السابق هو الخطأ الثابت وهو الفرق النهــائى بين القيمة المطلوبة والقيمة المقاسة لمنظومة التحكم ــ وتتغير كميته بتغير الحمل ولذلك تستخدم عمليات التكامل للتخلص من هذا الخطأ الثابت (شكل (١٥ ــ ٤) .



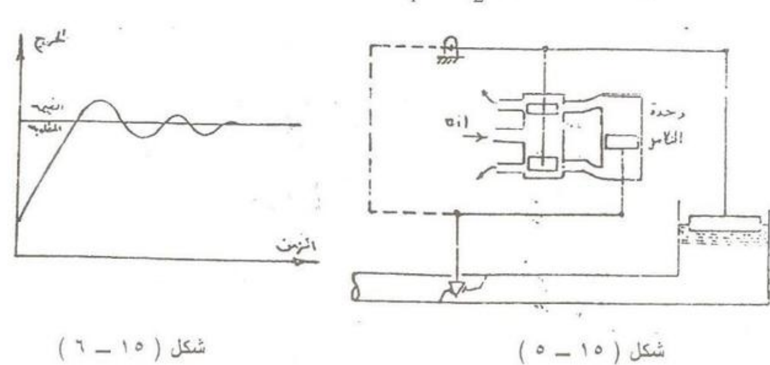


شكل (١٥ ــ ٤)

٢ ــ نظام التحكم بالتناسب والتكامل Proportional + integral control action

عند حدوث الخطأ الثابت فى نظام التحكم بالتناسب يمكن استخدام هذا النظام بحيث يعمل على تجميع أو تكامل الخطأ الثابت مع الزمن بغرض تخفيض قيمته للوصول إلى خرج للمنظومة مساو تماما للقيمة المطلوبة .

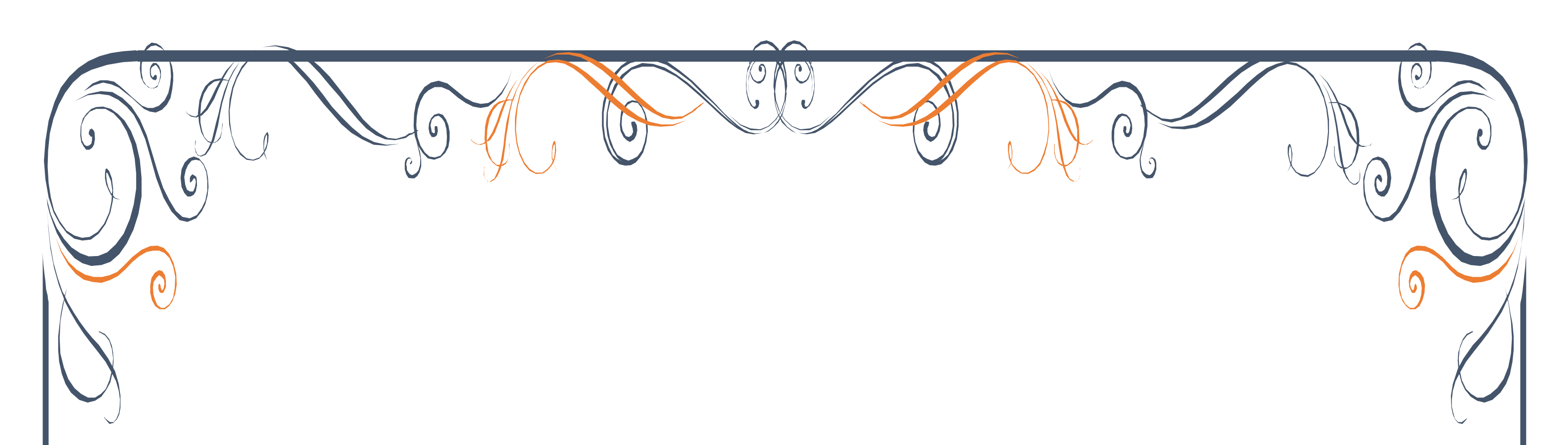
ولذا يسمى فعل التكامل إعادة الضبط . ويوضح شكل (١٥ ــ ٥) كيفية إدخال وحدة هيدروليكية للتكامل بحيث يعمل النظام السابق بفكرة التناسب والتكامل معا طبقا للمعادلة : $V = -K_1\varepsilon - K_2\int \varepsilon\, dt$



شكل (١٥ ــ ٥)

شكل (١٥ ــ ٦)

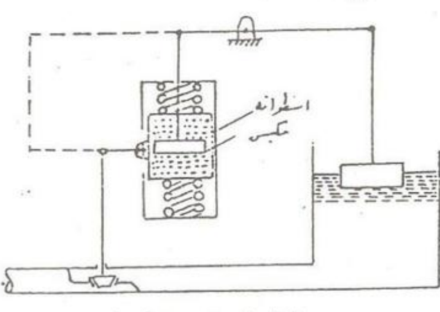
ويتم ضبط زمن التكامل بحيث يتم الوصول للقيمة النهائية بدون تأخير كبير وبأقل عدد من الذبذبات كما هو واضح فى شكل (١٥ ــ ٦) .



٣ ـ نظام التحكم بالتناسب والمعدل Proportional + derivative control action

الغرض من هذا النظام هو زيادة سرعة الاستجابة لمنظومة التحكم بحيث تزيد كمية التصحيح تبعا لزيادة معدل تغير (سرعة) الخطأ . ويستخدم هذا النظام مع نظام التحكم بالتناسب كما هو مبين بالشكل (١٥ ـ ٧) بحيث يتم التصحيح وفقا للمعادلة التالية :

$$V = -K_1\varepsilon - K_3\frac{d\varepsilon}{dt}$$



شكل (١٥ ـ ٧)

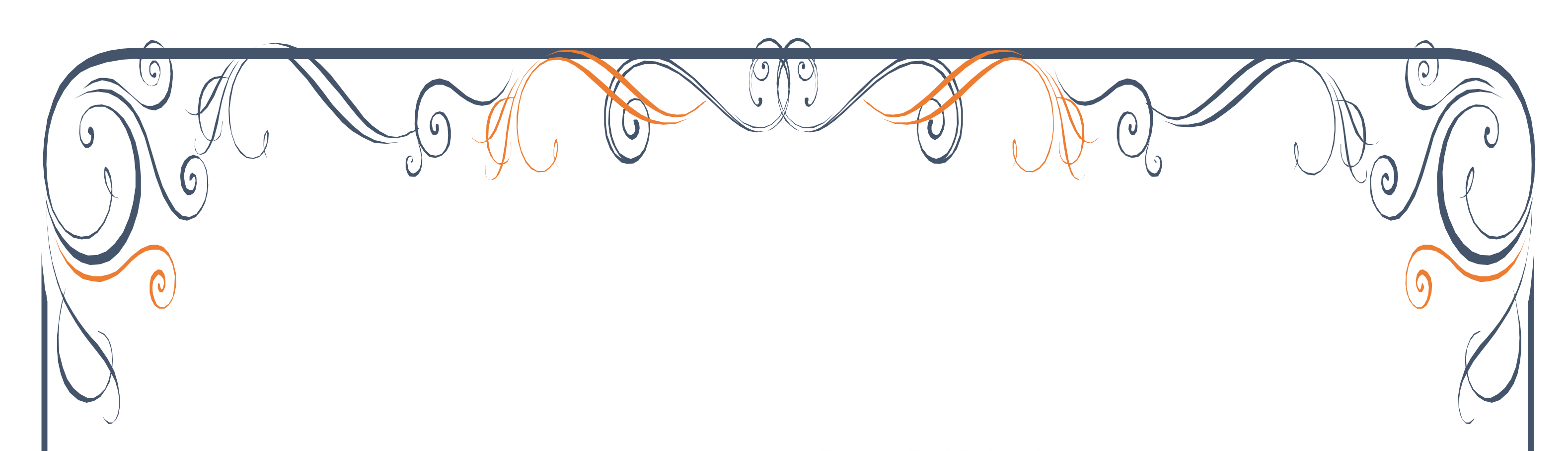
يتضح من هذا الشكل أنه عند ارتفاع أو انخفاض مستوى السائل بسرعة كبيرة ـ فإن مجموعة المكبس والاسطوانة تعطى مقاومة تتناسب مع هذه السرعة ، ويقوم الياى بتحويل هذه المقاومة إلى مسافة لرفع أو خفض الصمام بما يسمح بزيادة التصحيح بحيث يتناسب مع سرعة تغيير الانحراف .

٤ ـ نظام التحكم الثلاثى بالتناسب والتكامل والمعدل :

Proportional + integral + derivative control action

يقوم هذا النظام بتجميع المزايا الرئيسية لأنواع التحكم السابقة مع تلافى عيوب كل منها . فعنصر التناسب يؤدى إلى استقرار الخرج وعدم حدوث ذبذبات مستمرة حول القيمة المطلوبة ، بينما يؤدى وجود التكامل إلى القضاء على الخطأ الثابت للوصول إلى خرج المنظومة ليتساوى مع القيمة المطلوبة تماما ، وأخيرا فإن عنصر المعدل يعمل على زيادة سرعة الاستجابة وتعويض التأخير الناتج عن ادخال عنصر التكامل ويمكن التعبير عن هذا النظام بالمعادلة :

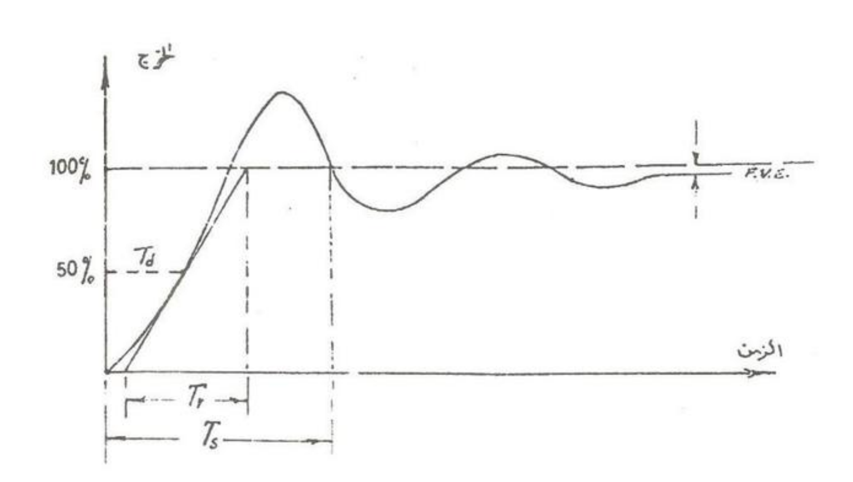
$$V = -K_1\varepsilon - K_2\int\varepsilon dt - K_3\frac{d\varepsilon}{dt}$$



١٥ – ٢ ـ ٣ : مواصفات الأداء الزمنى :

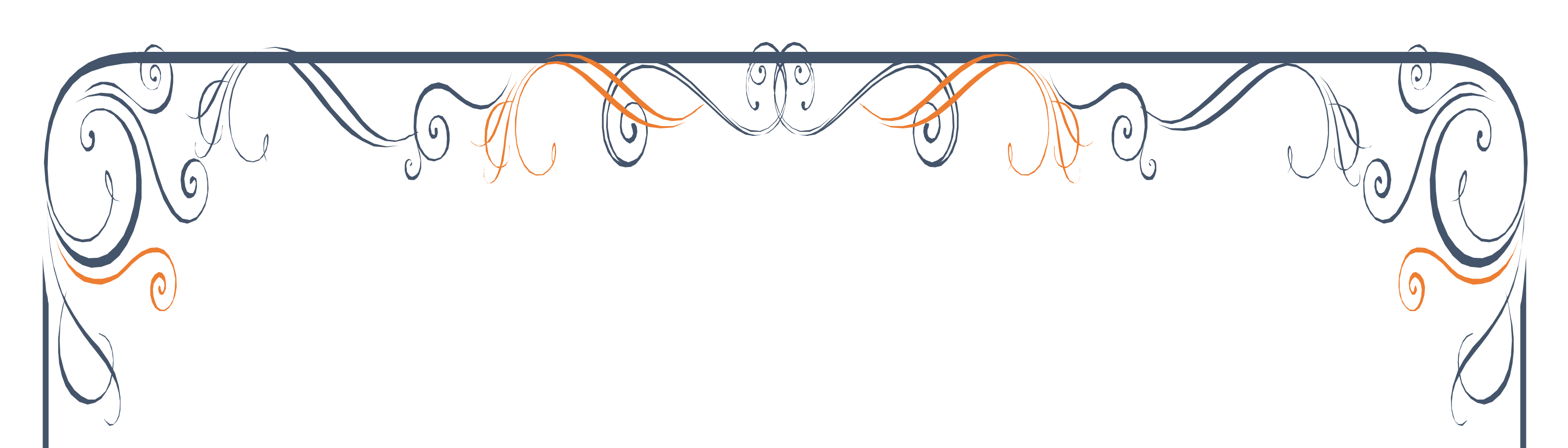
يبين الشكل (١٥ ـ ٨) الاستجابة العامة لمنظومة تحكم والبارامترات الرئيسية التى تستخدم للحكم على جودة الأداء للمنظومة وهى كالآتى :

١ ـ زمن التأخير	T_d	Delay time
٢ ـ زمن الارتفاع .	T_r	Rise time
٣ ـ نسبة الزيادة .		% Overshoot
٤ ـ زمن الاستقرار .	T_s	Settling time
٥ ـ الخطأ النهائى .	F.V.E.	(offset) Final valve error



شكل (١٥ ـ ٨)





١٥ ـ ٣ أجهزة القياس Instrumentation

تستخدم أجهزة القياس لبيان الحالة الفعلية أثناء التشغيل للمتغيرات المـراد الإشـراف عليها ، وبالتالى يجب أن تتصف هذه الأجهزة بالدقة والقدرة على الاحتمال والحساسـية ، وذلك لفترات طويلة مع ظروف التشغيل البحرية .

وبالنسبة لعمليات التحكم ، فإن أجهزة القياس تلعب دوراً بارزاً فـى قيـاس متغيـرات منظومة التحكم ثم تحويل الكمية المقاسة إلى حركة ميكانيكية أو نبضات كهربية أو تغير فى ضغط الهواء .... الخ حيث تسـتعمل هذه الإشارات بعد ذلك فى البيـان والتسـجيل والإنذار .. الخ .

ومن المتغيرات الهامة التى يتحتم قياسها : الضغوط ـ درجات الحرارة ـ مستويات السوائل ـ معدلات التدفق ـ الكثافة ـ اللزوجة ـ نسبة الرطوبة ـ الزوايا والأوضاع ـ السرعات .... الخ .

ويمكن تقسيم أجهزة القياس من الناحية الوظيفية إلى قسمين :

أ ـ وحدة الإحساس : Sensor

وتقوم بالكشف عن أى تغير فى البارامترات ـ وقياس هـذا التغيـر كـالازدواج الحرارى للكشف عن التغير فى درجة الحرارة ـ وأنبوبة بوردون لمعرفة التغير فى الضغط ... الخ .

ب ـ محولات الطاقة : Transducers

لتحويل خرج وحدة الإحساس إلى كمية يمكن نقلها لأغراض التحكم أو البيان عـن بعد مثل الإشارات الكهربائية ـ إشارات الهواء المضغوط .. الخ .

١٥ ـ ٣ ـ ١ : أجهزة قياس الضغط Pressure measurement

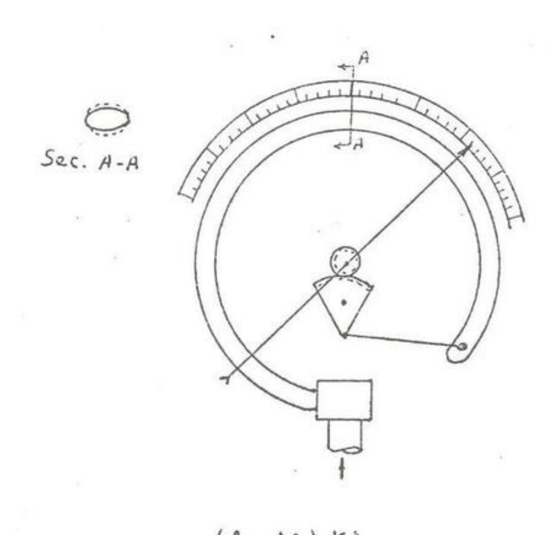
أ : أنبوبة بوردون : Bourdon tube

تعتمد فكرة هذا الجهاز على تحويل التغير فى الضغط إلى حركة ميكانيكية وذلك بالتأثير



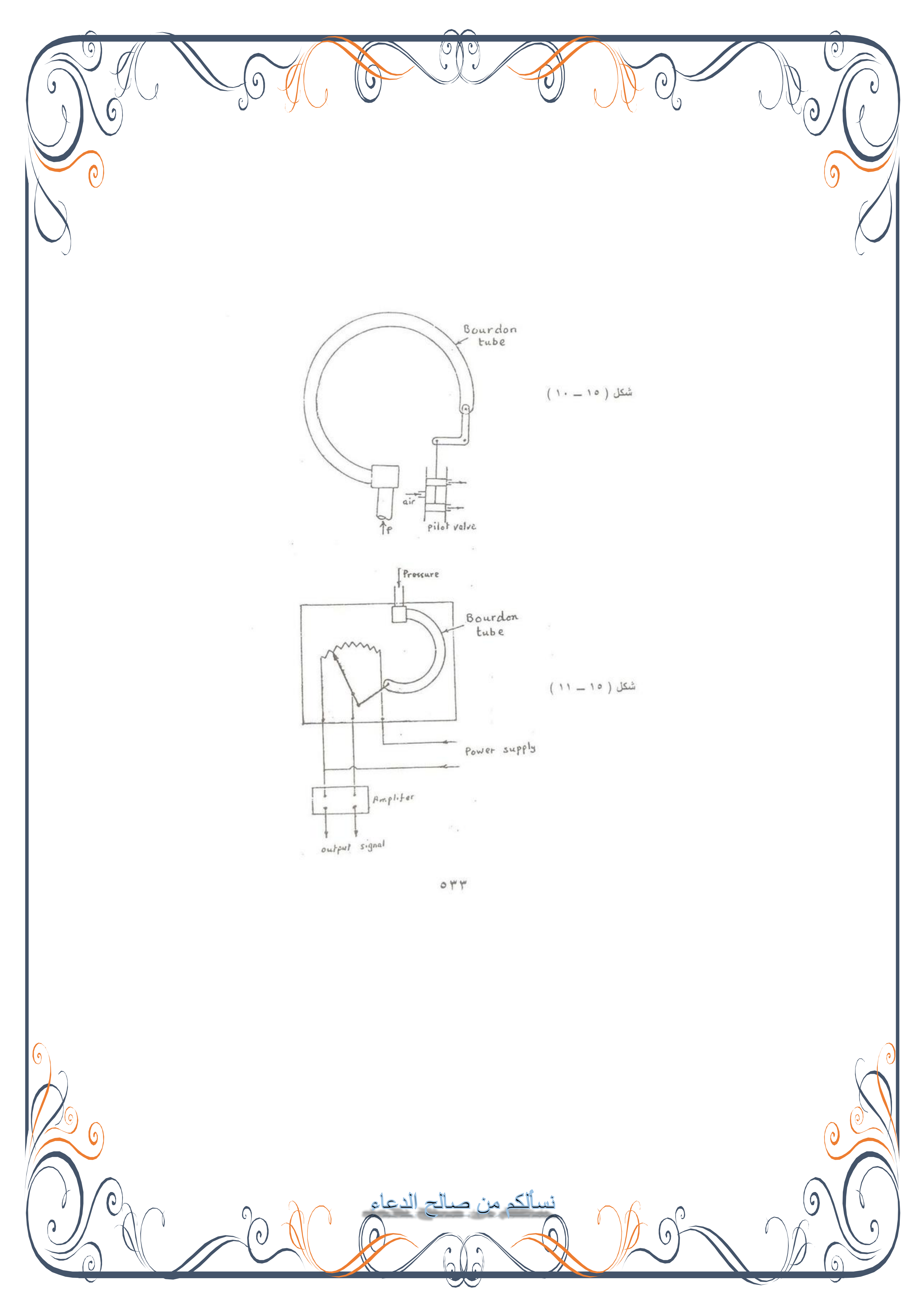
على مرونة المعدن . ويتكون الجهاز أساساً من أنبوبة مفرغة على شــكل حــرف C ذات مقطع بشكل نصف قطع ناقص – وأحد أطرافها مفتوح ومثبت و الطرف الآخر مغلق وحر الحركة .وعند إدخال غاز أو سائل داخل الأنبوبة – يعمل الضغط الناتج على تحريك الطرف الحر نحو الخارج مع تغير شكل المقطع . وتستخدم حركة الطرف الحر هذه فــى أغــراض البيان المحلى للضغط – والتحكم وأغراض البيان عن بعد – ويراعى فى صنع الأنبوبة أن تكون من مادة مقاومة للصدأ مثل البرونز الفسفورى أو الصلب الذى لا يصدأ – مع وجود مرونة كافية لتعود الأنبوبة إلى الوضع الأصلى عند تخفيض الضغط .

ويمثل أشكال (١٥ – ٩) ، (١٥ – ١٠) ، (١٥ – ١١) ، ثلاثــة اســتخدامات مختلفة لأنبوبة بوردون فى أغراض البيان المحلى والتحكم والبيان عن بعد على التوالى .



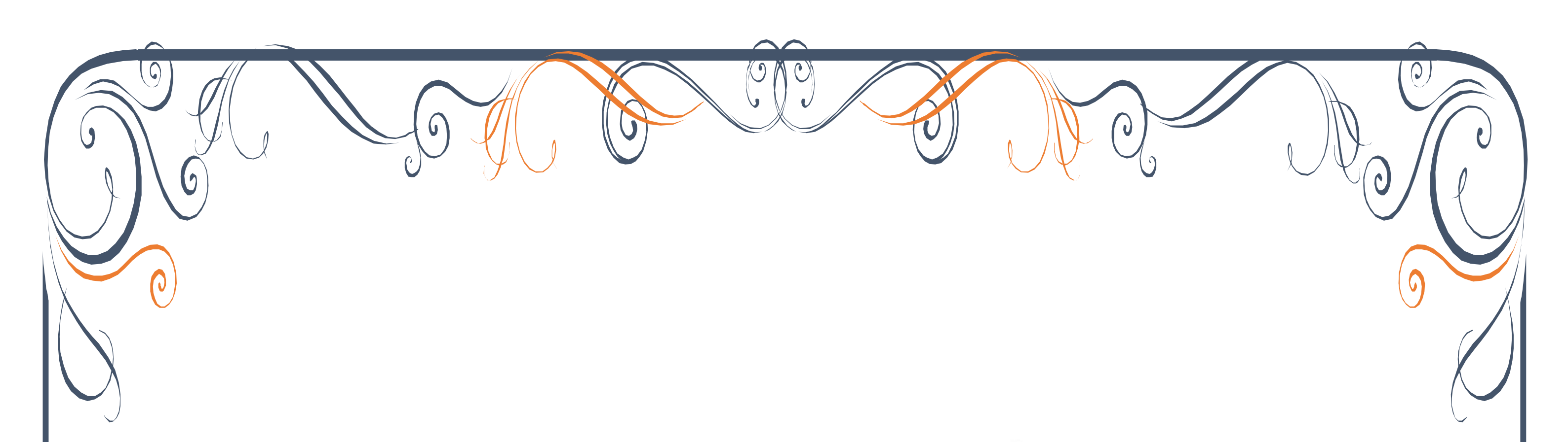
شكل (١٥ – ٩)





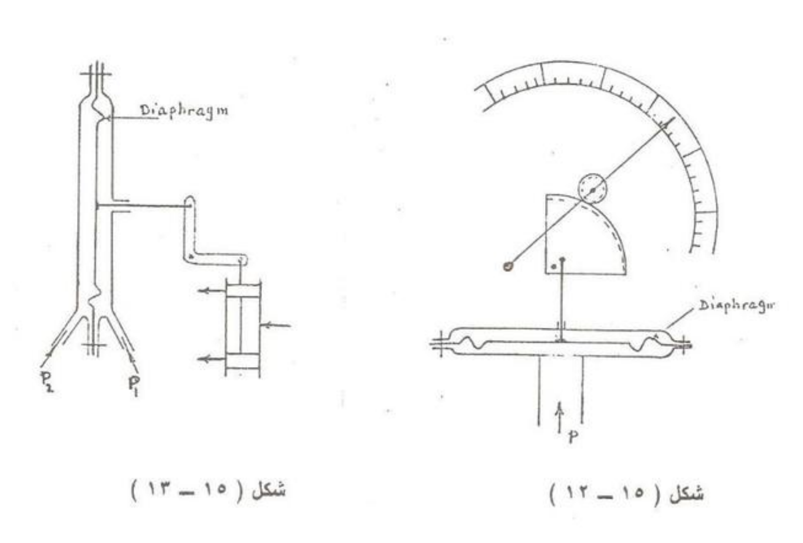
شكل (١٥ ـ ١٠)

شكل (١٥ ـ ١١)



ب ـ الغشاء المعدنى (الديافرام) Diaphragm type

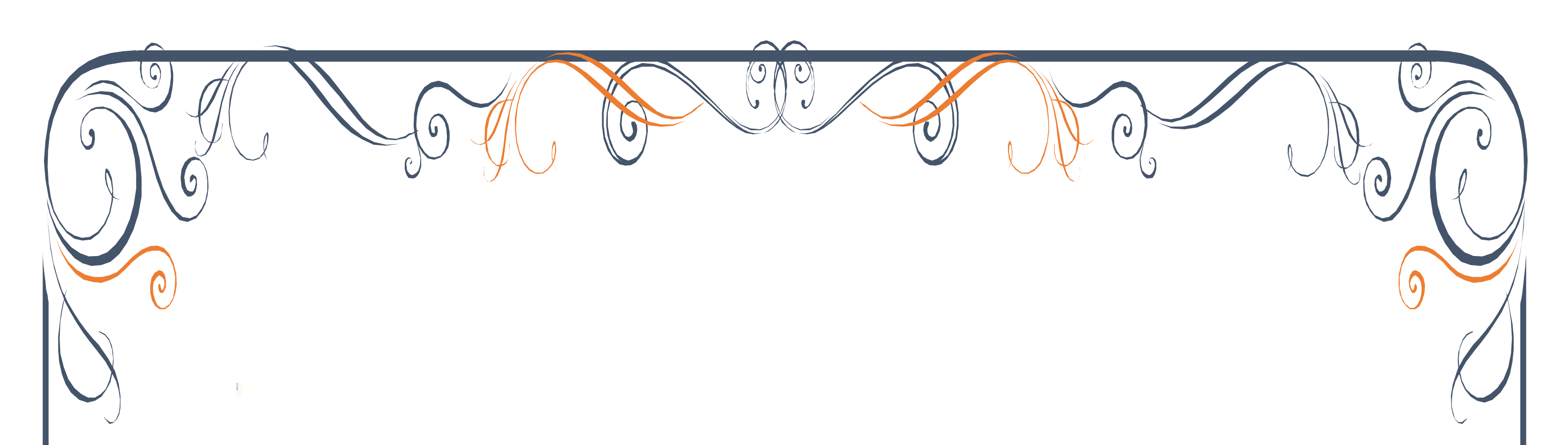
يستخدم هذا النوع لأغراض البيان والتحكم وهو عبارة عن غشاء معدنى مـرن تتـأثر مرونته بتعرضه للضغط ، ويتم وضع مجموعة ميكانيكية كالمبينة بالشـكل (١٥ ـ ١٢) لتحويل الحركة البسيطة لسطح الديافرام إلى حركة يمكن إظهارها على المؤشر . ولأغراض التحكم يستعمل الديافرام لمقارنة ضغطين بحد أقصى (١ بار) مع توفير الوسائل اللازمة لمنع الديافرام من التوجيه للضغوط الكبيرة . ويوضح شكل (١٥ ـ ١٣) إحدى تطبيقات استخدام الديافرام فى التحكم .



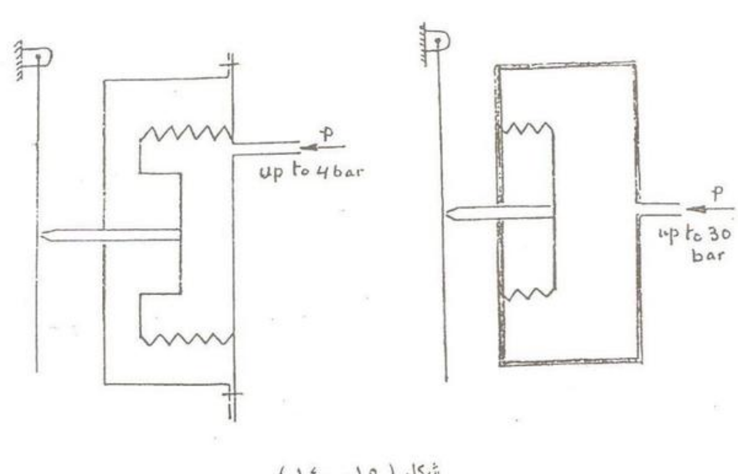
شكل (١٥ ـ ١٢)   شكل (١٥ ـ ١٣)

جـ ـ وحدة المنفاخ : Bellows type

تستخدم هذه الوحدة مع الضغوط المنخفضة والمتوسطة لأغـراض الـتحكم والبيـان ، ويصنع المنفاخ من البرونز الفسفورى عادة حيث يتحول تأثير الضغط إلى حركة ميكانيكية لسطح المنفاخ يمكن استخدامها بعد التكبير كما فى حالة أنبوبة بوردون السابقة .



ويتم التأثير بالضغط إما داخل أو خارج المنفاخ حسب قيمته كما يمكن تحويل حركة السطح إلى إشارة كهربية باستخدام مقاومة كهربية متغيرة كما سبق ، وتستخدم وحدات المنفاخ عند الحاجة لدرجة أعلى من الحساسية وفى مدى ٠.٢ كيلوجرام / سم² . شكل (١٥ ــ ١٤) .

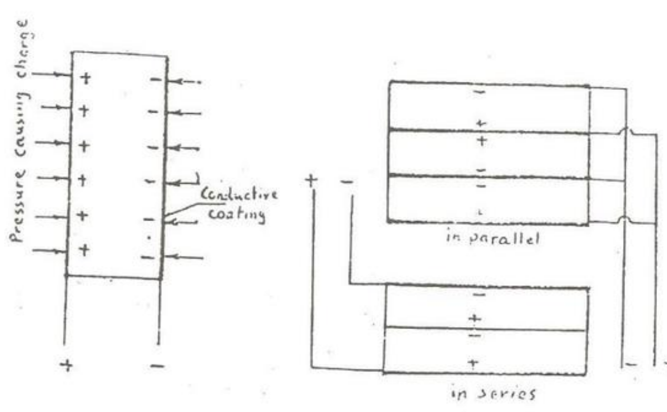


شكل (١٥ ــ ١٤)

د ــ الوحدات البللورية لقياس الضغط Piezoelectric transducer

هناك بعض البللورات التى تتميز بوجود توزيع غير متماثل للشحنة الكهربية عليها ، وعند تعرض هذه البللورات للضغط الخارجى يحدث تراكم للشحنات المختلفة على سطحيها ــ ويمكن قياس هذه الشحنات بتثبيت أقطاب على سطحين متقابلين للبلورة . ويمكن توصيل عدد من هذه البللورات على التوالى أو التوازى حسب الحاجة وهى تصنع عادة من الكوارتز (س أ ٢) أو تاتينات الباريوم أو التوسالين ، ويمكن للنوع الأخير تحمل ضغوط تصل إلى ٨٠٠ بار . أنظر شكل (١٥ ــ ١٥) .





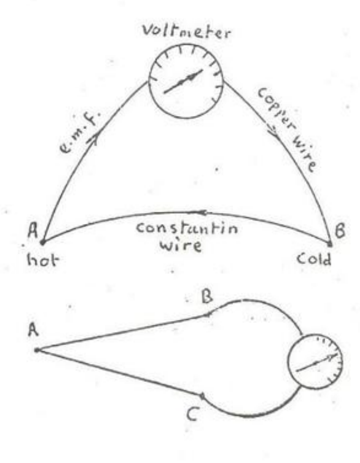
شكل (١٥ ــ ١٥)

١٥ ــ ٣ ــ٢ أجهزة قياس درجة الحرارة temperature measurement

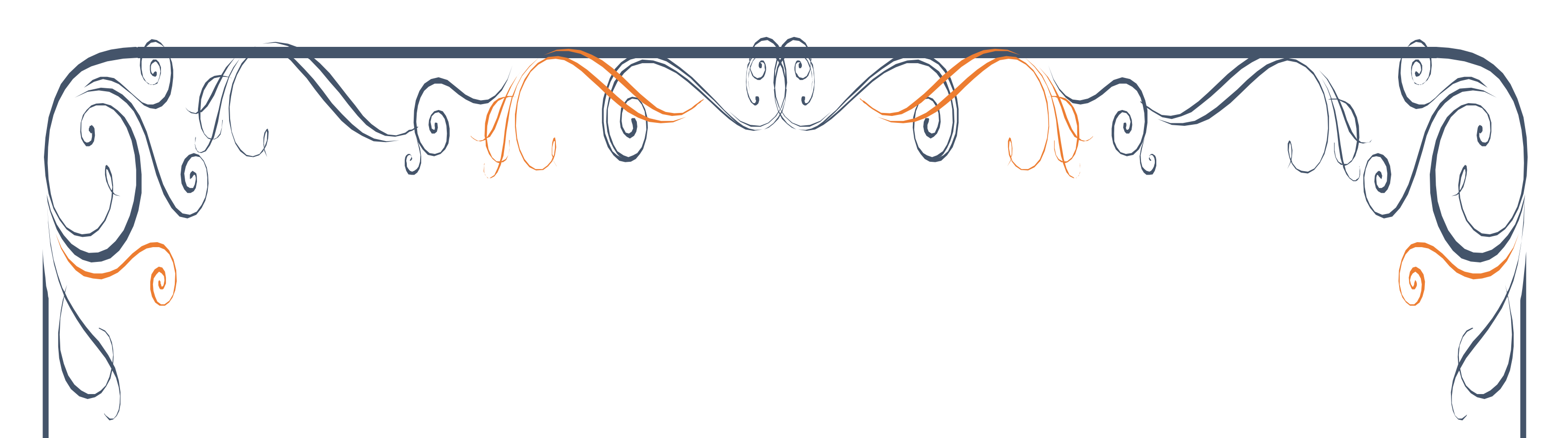
أ ــ الازدواج الحرارى Thermocouple

عند تكوين دائرة من معـدنين مختلفـين بحيث يوضع أحد الأطراف فى درجة حــرارة أعلى من درجة حــرارة الطــرف الآخــر ــ تتكون قوة دافعة كهربيـــة تتناســب قيمتهــا تناسبا طرديا مع الاختلاف فى درجة الحرارة بين الطرفين الساخن والبارد ــ وتسمى هذه الدائرة بالازدواج الحرارى .

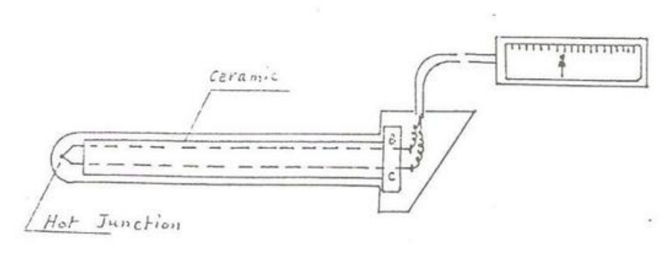
ومن المعادن المستخدمة لذلك (النحاس والكونستنتان) و (الحديد والكونستنتان) و (البلاتين والروديوم) . ولزيادة الدقة فــى قياس الازدواجات الحرارية يجــب اســتعمال أسلاك رقيقة مع مراعــاة تلافــى الحــرارة المفقودة بالإشعاع باســتخدام أطوال أكبر من



شكل (١٥ ــ ١٦ ــ أ)



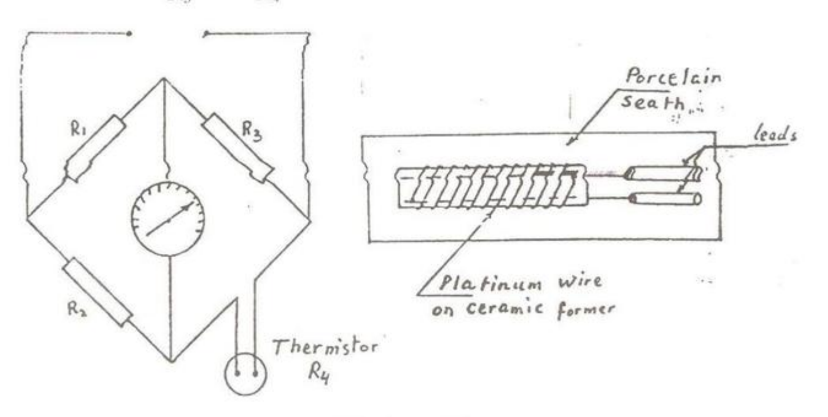
السلك كلما أمكن ذلك . ويوضح شكل (١٥ ــ ١٦) التركيب العـام لأحـد الازدواجـات الحرارية .



شكل (١٥ ــ ١٦ ــ ب)

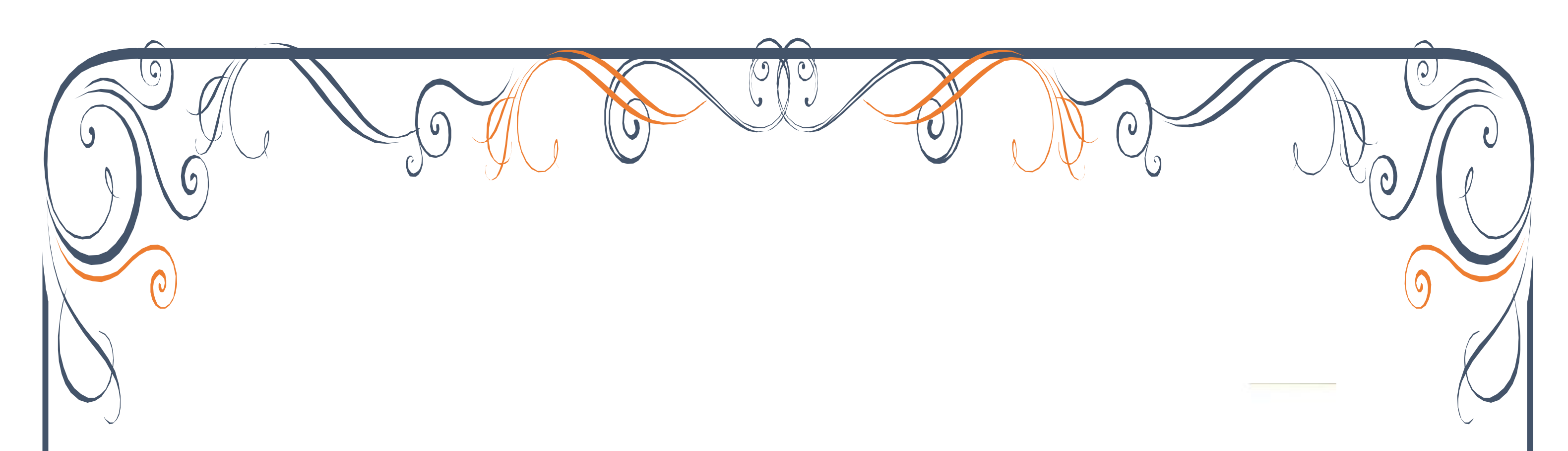
ب ــ ترمومتر المقاومة المعدنية :

يلاحظ أن المقاومة الكهربية للمعادن تتناسب طرديا مع درجة الحرارة بطريقة خطيـة تقريبا ، بحيث يمكن استغلال هذه الظاهرة فى صنع ترمومترات تعتمد علـى التغيـر فـى المقاومة . ولقياس المقاومة الكهربية بطريقة دقيقة تستخدم قنطرة "هويتستون" كما هـو مبين بشكل (١٥ ــ ١٧) بحيث يمكن حساب المقاومة المجهولة R_4 بمعرفة المقاومات الأخرى فى الدائرة وذلك فى حالة الاتزان من العلاقة : $\frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{R_4}$



شكل (١٥ - ١٧)



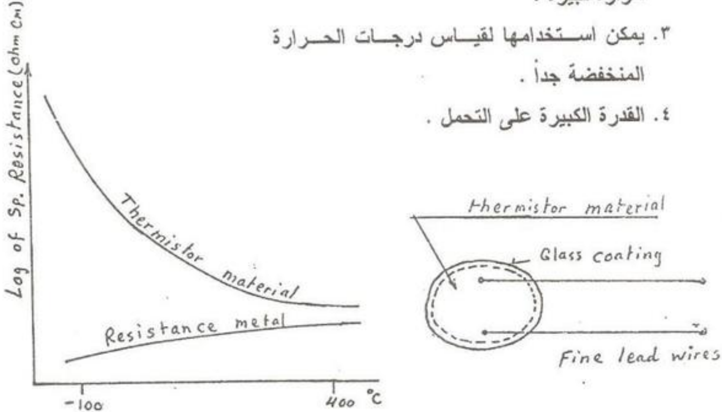


جـ المقاوم الحرارى : Thermistors

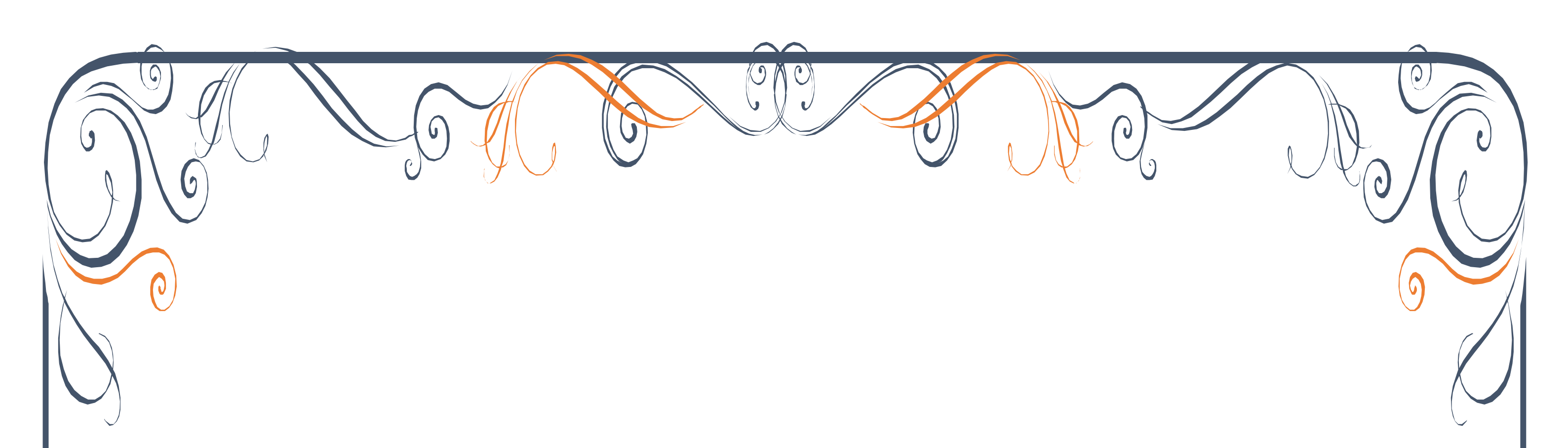
يتميز المقاوم الحرارى بوجود معامل سالب للمقاومة مع درجة الحرارة ـ أى أن المقاومة تقل كلما زادت درجة الحرارة على عكس ما يحدث فى المقاومات المعدنية . وتستخدم هذه الظاهرة لقياس درجة الحرارة بنفس الطريقة المستخدمة فى المقاومات المعدنية . والمقاوم الحرارى عبارة عن مادة شبه موصلة Semi - conductor حيث تعمل زيادة درجة الحرارة على ازدياد طاقة الحركة للالكترونات الحرة وإضافة المزيد من الالكترونات إلى منطقة التوصيل الكهربى وبذلك تقل المقاومة الكلية لمرور التيار . أنظر شكل (١٥ ـ ١٨) .

وتصنع المقاومة الكلية بالتسخين تحت الضغط لخليط من مساحيق أكاسيد بعض المعادن مثل المنجنيز والنيكل والكوبالت والنحاس واليورانيوم ـ ثم يتم تثبيت أطراف التوصيل بقطر ٠,٢٥ مم ويغلف الناتج بطبقة من الزجاج للحماية والصلابة وتشكل المقاومات الحرارية بأشكال الأقراص أو الحبيبات أو القضبان الرفيعة . ومن أهم مميزاتها :

١. الصغر المتناهى فى الحجم .
٢. قلة الحرارة النوعية وبالتالى لا تمتص كمية حرارة كبيرة .
٣. يمكن استخدامها لقياس درجات الحرارة المنخفضة جداً .
٤. القدرة الكبيرة على التحمل .



شكل (١٥ - ١٨)



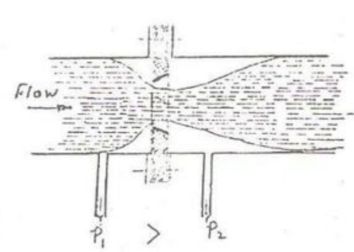
١٥ ـ ٣ ـ ٣ : قياس التدفق Flow measurement

أنبوبة الفنتورى Venturi-tube

يتم استخدام نظرية بقاء الطاقة لإحداث فرق فى الضغط على جانبى الاختناق يمكن بواسطته معرفة معدل التدفق . وباعتبار أن طاقة السائل عند أى نقطة تتكون من طاقة الضغط وطاقة الحركة ، ومساواتها عند النقط ١ ، ٢ تنتج المعادلة :

$$(K.E)_1+(P.E)_1=(K.E)_2+(P.E)_2$$

$$\frac{1}{2}v_1^2+\frac{P_1}{\rho}=\frac{1}{2}v_2^2+\frac{P_2}{\rho} \quad \ldots(1)$$



وحيث أن التدفق ثابت عند أى مقطع للأنبوبة

$$\therefore v_1.A_1=v_2.A_2 \quad \ldots(2)$$

بالتعويض من (٢) فى (١)

$$\frac{1}{2}v_1^2(1-\frac{A_1}{A_2})^2=\frac{p_2-p_1}{\rho}$$

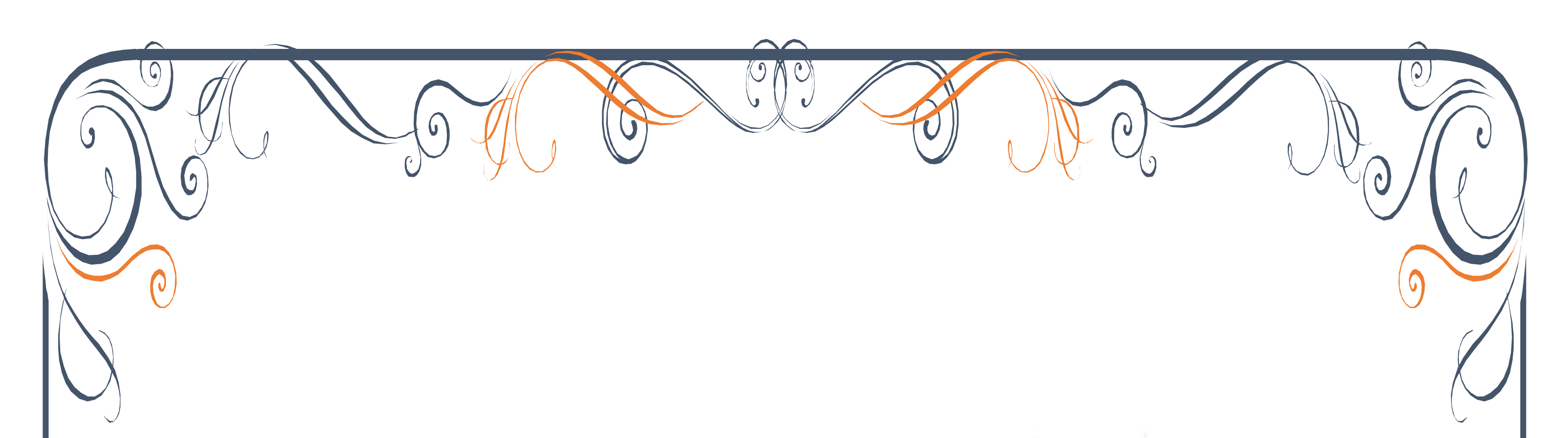
$$v_1=\sqrt{\frac{2(p_1-p_2)}{\rho\left\{(\frac{A_1}{A_2})^2-1\right\}}}$$

شكل (١٥ ـ ١٩)

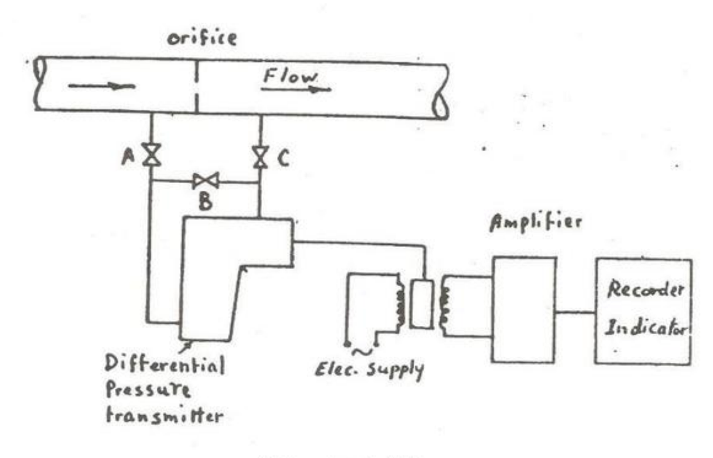
∴ معدل التدفق = مقدار ثابت × $\sqrt{\text{فرق الضغط حول الأنبوبة}}$.

أى أنه لقياس معدل التدفق ـ يتم إيجاد الفرق فى الضغط حول الأنبوبه ثم استخراج الجذر التربيعى لهذا الضغط حيث يتناسب المقدار الناتج مع معدل التدفق .

ويوضح شكل (١٥ ـ ٢٠) أحد تطبيقات أنبوبة فنتورى للحصول على إشارة كهربية



تعبر عن التغير فى معدل التدفق داخل أنبوبة توصيل حيث تعمل الصمامات A,B,C علـى حماية الديافرام المستخدم فى قياس الضغط الفرقى، وذلك بفتح الصمام B أولا عنـد بـدء تشغيل أو إبطال الجهاز . وتقوم وحدة إرسال الضغط الفرقى بتحويل الجذر التربيعى للضغط إلى حركة ميكانيكية تؤثر على القلب المغناطيسى لمحول كهربى لإعطاء إشارة كهربية يتم تكبيرها وإرسالها إلى وحدة التسجيل أو الإنذار ... الخ .



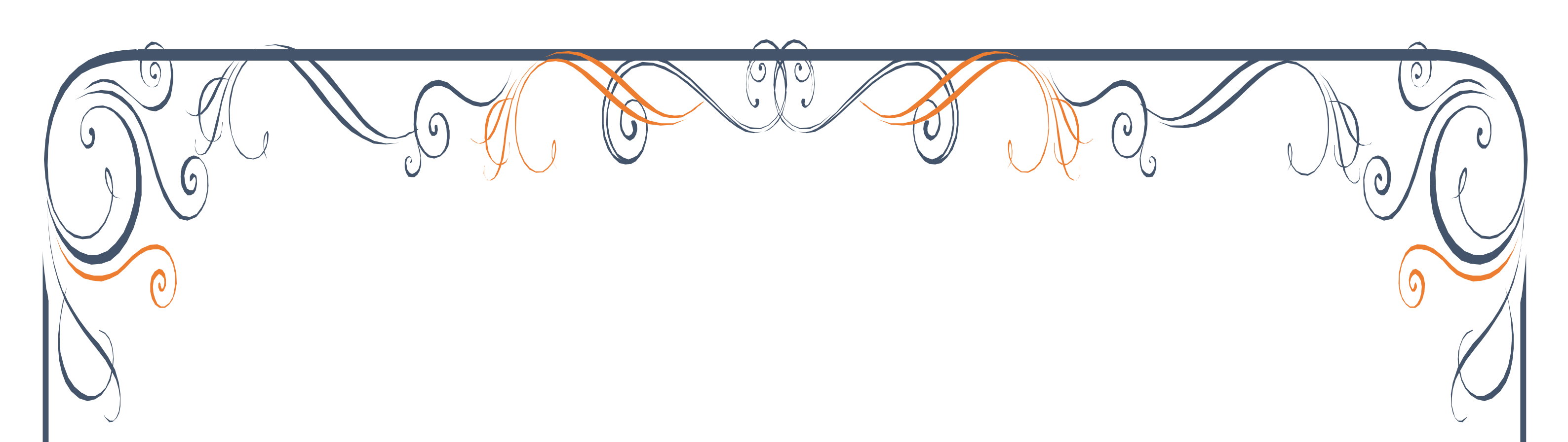
شكل (١٥ ــ ٢٠)

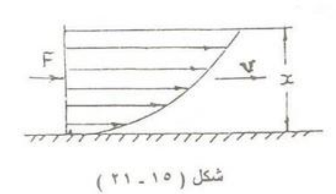
١٥ ــ ٣ ــ ٤ : قياس اللزوجة Viscosity measurement

تعرف اللزوجة بأنها مقاومة السائل لإحداث تغير فى الشكل ــ وتعتمد هـذه المقاومـة على القوى الترابطية بين الجزيئات والتى تتوقف بدورها على حجم الجزيئـات ودرجـات الحرارة ، وعندما بحث نيوتن قياس اللزوجة وجد أن إجهاد القص لكتلة متحركة من السائل يتوقف على انحدار السرعة .

وبالنظر إلى شكل (١٥ ــ ٢١) نجد أن السرعة تتناقص مع الاقتـراب مـن القـاع ويسمى $\frac{dv}{dx}$ انحدار السرعة .

$$\frac{F}{A} \propto \frac{dv}{dx}$$





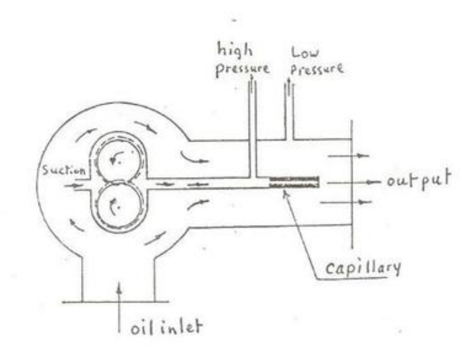
شكل (١٥ - ٢١)

$$Or \quad \frac{F}{A} = \mu \frac{dv}{dx}$$

حيث μ هى ثابت التناسب وتسمى معامل اللزوجة .

وتعتمد فكرة قياس اللزوجة شكل (١٥ ــ ٢٢) على دفع كمية صغيرة من السائل بمعدل ثابت من خلال أنبوبة شعرية بحيث يكون التدفق طبقيا Laminar flow .

ويتناسب فرق الضغط عند طرف الأنبوبة مع قوة القص وبالتالى فإنه يتناسب مباشرة مع اللزوجة . ويوضح الشكل كيفية دفع السائل باستخدام مضخة تروس تدور بسرعة ثابتة .



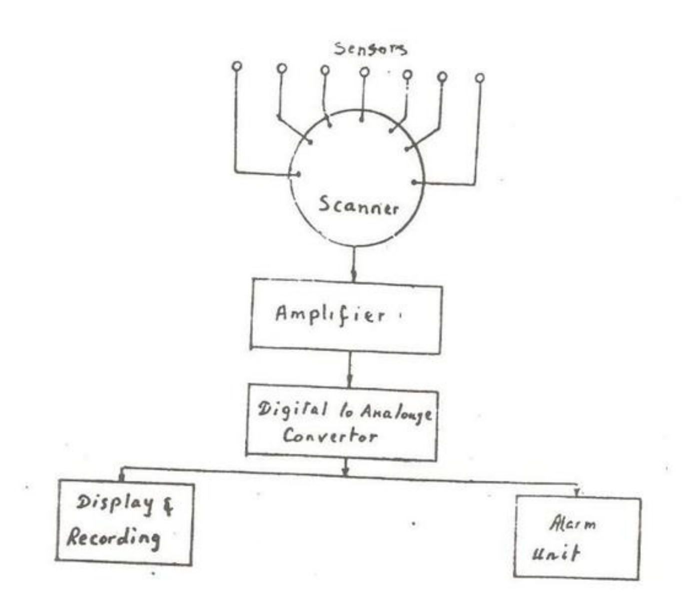
شكل (١٥ ــ ٢٢)



١٥ ـ ٤ أنظمة تسجيل البيانات والإنذار

Data loggers and alarm systems

يتكون النظام المبين بشكل (١٥ ــ ٢٣) من العناصر التالية :

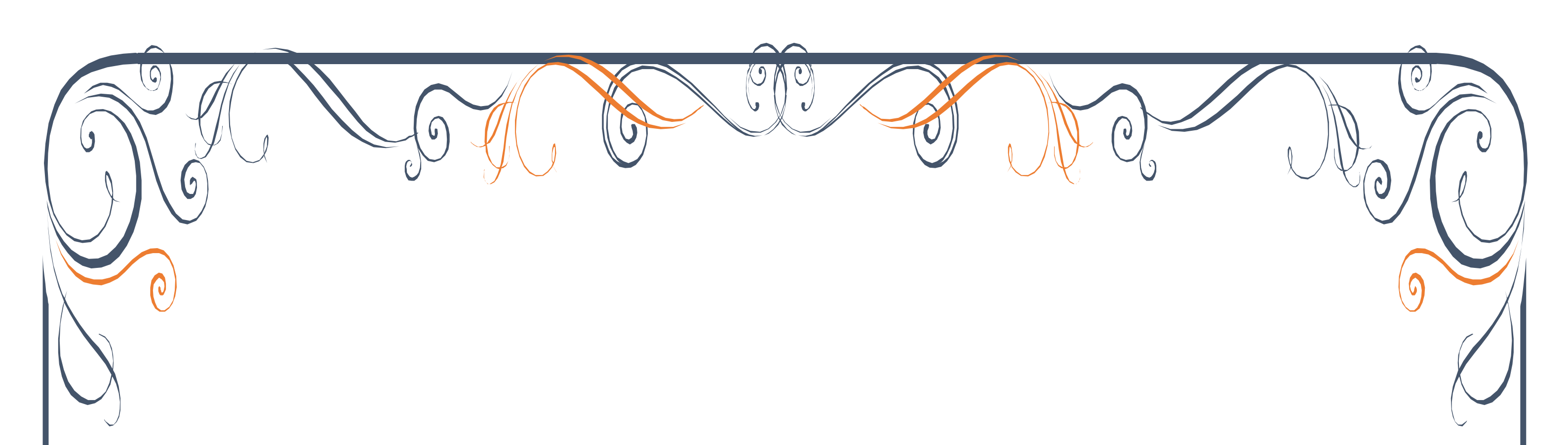


شكل (١٥ ــ ٢٣)

أ) وحدات القياس : Measuring units & transducers

وهى مجموعة من الأجهزة التى تعمل على اكتشاف أى تغير يحدث فى بارامترات السفينة مثل الضغوط ودرجات الحرارة والسرعات والزوايا .. الخ وتحويل الكمية المقاسة إلى إشارة كهربية يمكن نقلها بعد ذلك إلى الوحدات التالية .





ب) وحدة المسح Scanner

وتستقبل هذه الوحدات إشارات الخرج من وحدات القياس والتى تعبر عن الحالة الطبيعية لكل بارامتر ، ويمكن العمل بانتظام لمسح ١٠ إلى ١٠٠٠ وحدة قياس إما بطريقة منتظمة أو عشوائية حسب المطلوب .

جـ) وحدة تحويل الإشارات إلى أرقام Digital to Analogue converter

وتشمل المكبر الذى يعمل على تقوية الإشارة الناتجة من وحدة المسح ثم التحويل والذى يقوم بإنتاج رقم يتناسب مع القيمة التناظرية للإشارة المستقبلة .

د) وحدة الإنذار Alarm unit

فى حالة تعدى أحد المتغيرات القيمة المحددة لها (ويمكن تغييرها فى الجهاز) ـ تقوم الوحدة بإصدار صوت انذار مرتفع مع ضوء متقطع وذلك فى جميع وحدات السفينة ولا يمكن إسكات الصوت إلا بالضغط على زر خاص بغرفة التحكم ويظل الضوء موجوداً لحين إصلاح أسباب العطل . ويتم فى هذة الحالة تسجيل سبب الإنذار وقت الإصلاح بوحدة التسجيل .

هـ) وحدة اظهار البيانات والتسجيل Display & recording units

وتحتوى على وحدات إظهار إما تشابهية مثل مؤشرات الحرارة والضغط ... الخ أو رقمية وهى التى تستخدم الآن بكثرة فى السفن الحديثة للدقة . وتزود الوحدة بمجموعة تسجيل للتغيرات المختلفة والتى يمكن الرجوع إليها لتحديد وإصلاح الأعطال بالسفينة .

١٥ ـ ٥ أمثلة وتطبيقات عملية للتحكم فى محركات الديزل البحرية

Applications

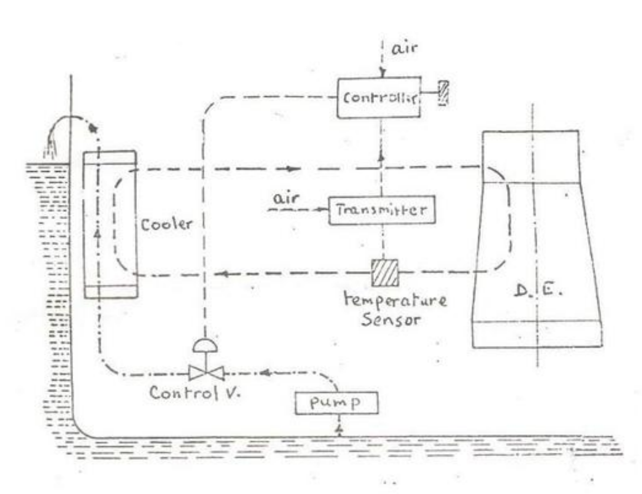
١٥ ـ ٥ ـ ١ : التحكم فى درجة حرارة مياة التبريد

Control of cooling water temperature

يتم ذلك بواسطة منظمات حرارية تتأثر بأى اختلاف يطرأ على درجة حرارة الماء الخارج من الاسطوانات ، وتتحكم بعد ذلك فى دورة المياة لتحفظ درجة حرارة الماء ثابتة :-

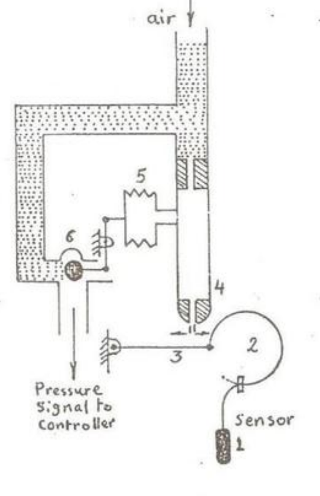


أ) يمثل الشكل (١٥ ــ ٢٤) إحدى هذه الطرق ، ويمكن الاحتفاظ بدرجة حرارة المياة بتغيير كمية المياة المالحة الداخلة للمبرد خلال صمام حاكم .

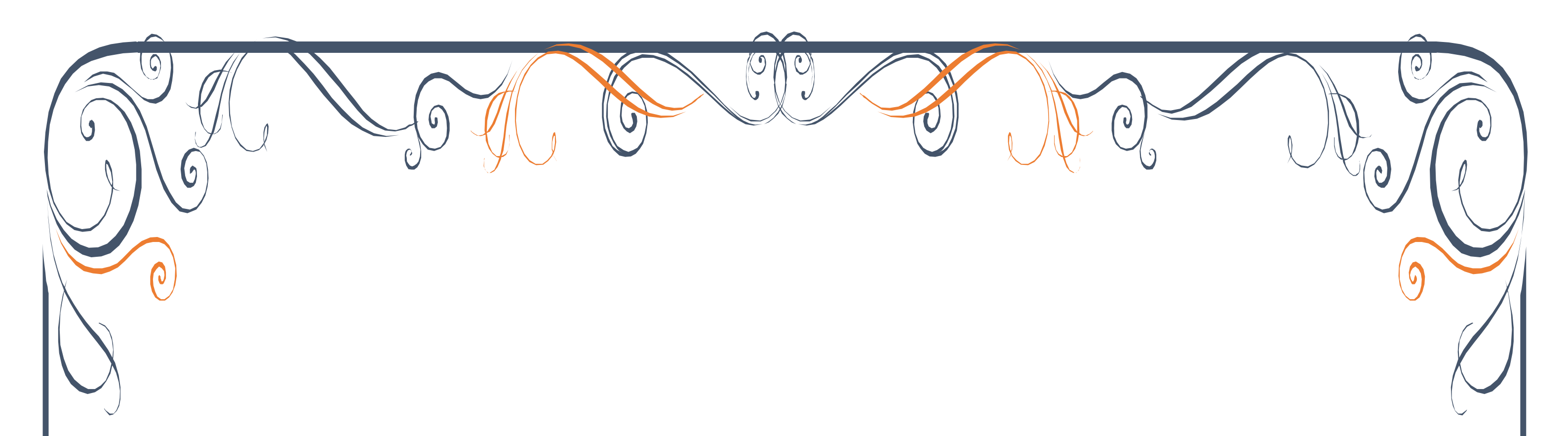


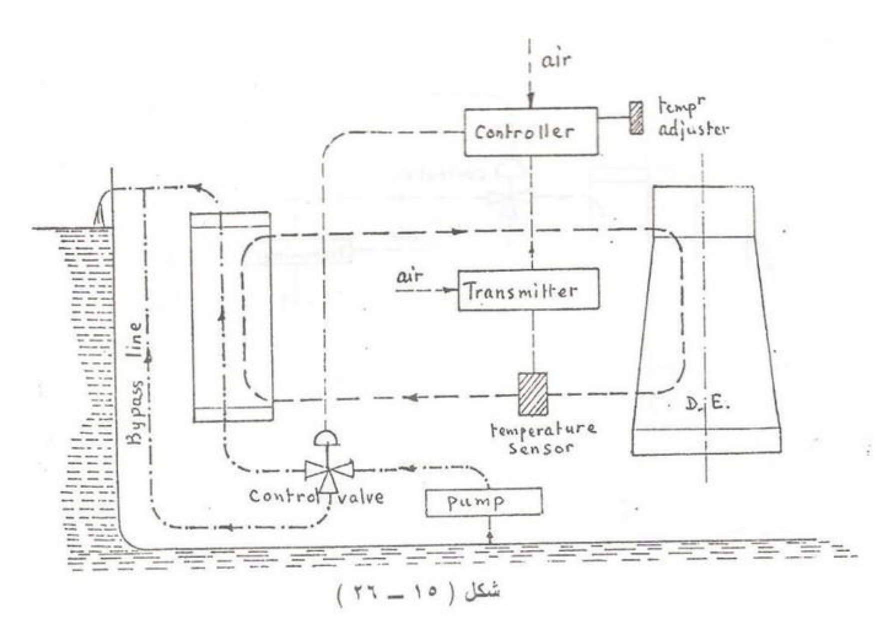
شكل (١٥ ــ ٢٤)

وشكل (١٥ ــ ٢٥) يوضح طريقة الأداء :ـ
عندما تتغير درجة حرارة الماء الخارجة من الاسطوانات ، يتأثر جهاز الإحساس (١) بهذا التغير ، ويؤثر على أنبوبة بوردون (٢) التى تغير من وضع الرفرف (٣) بالنسبة للفوهة (٤) فتتغير كمية الهواء المتسربة منها ، ويتغير تبعا لذلك ضغط الهواء داخل الأنبوبة والمنفاخ (٥) فيؤثر بدوره على الصمام (٦) فيغير من ضغط الهواء الموجه إلى المشغل الهيدروليكى Controller الذى يتحكم فى كمية المياة المتدفقة إلى المبرد .
وشكل (١٥ ــ ٢٦) يوضح تصميم آخر .



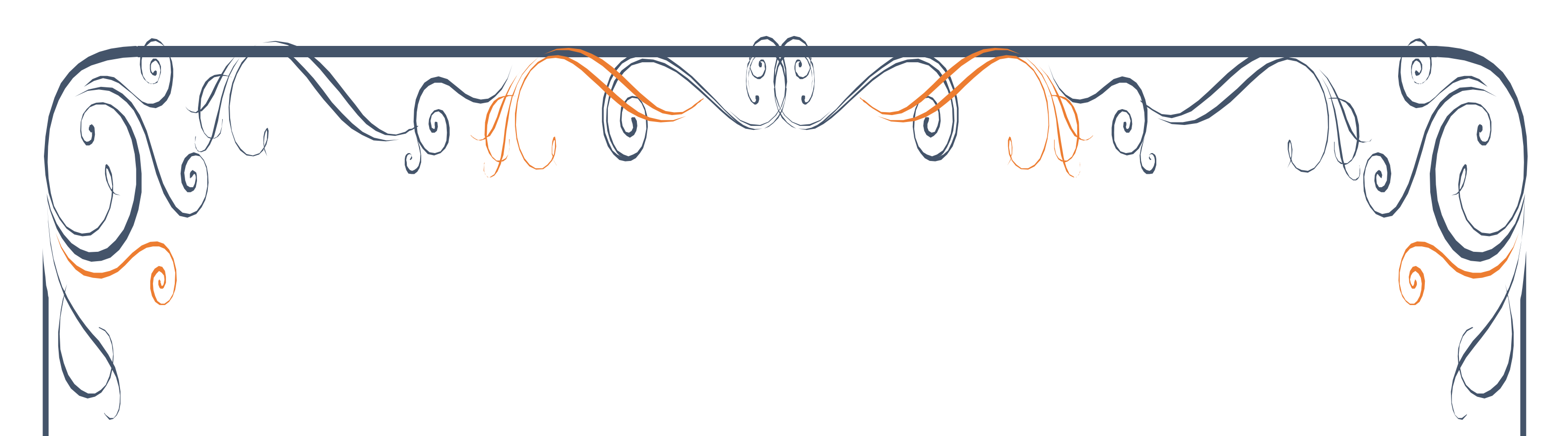
شكل (١٥ ــ ٢٥)

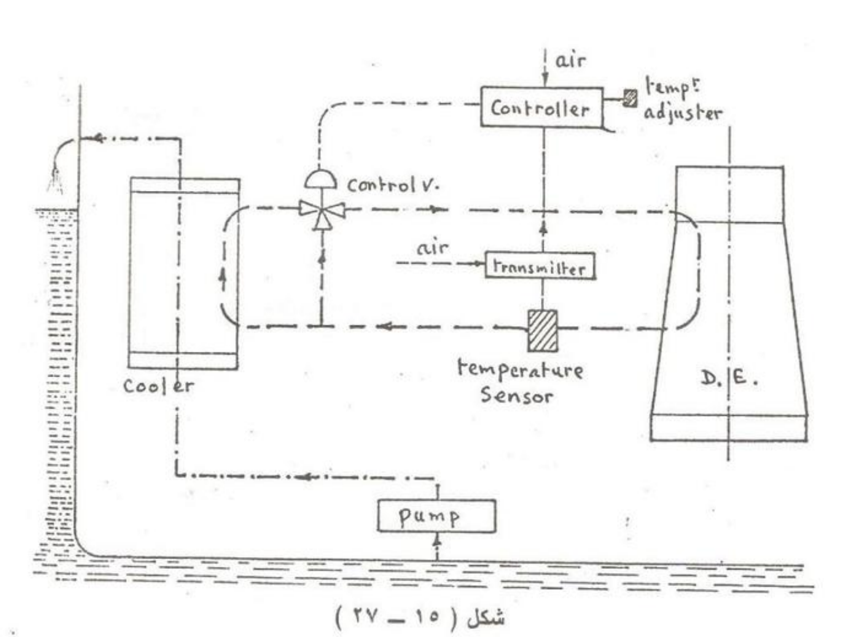




شكل (١٥ ــ ٢٦)

ب) يمثل الشكل (١٥ ــ ٢٧) طريقة أخرى للاحتفاظ بدرجة حرارة المياة بطريقة صمام تحكم آلى موجود على سكة المياة العذبة ومتصل بثلاث أفرع Control-valve أحدهم يسمح بدخول المياة بدون المبرد والآخر عن طريق المبرد ، أما الثالث فهو لدخول الماء للماكينة بعد الصمام ، ويتم التحكم فى درجة حرارة الماء بطريقة تغيير هذه الفتحات ، وتتميز هذه الطريقة بأن سرعة وضغط مياة التبريد فى الدائرة ثابتة دائماً ، وعليه يكون تبريد الاسطوانات منتظم ، كما أنها تساعد على تسخين الماكينة فى بداية التشغيل ، وعليه فإنها كثيرة الاستعمال فى ماكينات الديزل البحرية .





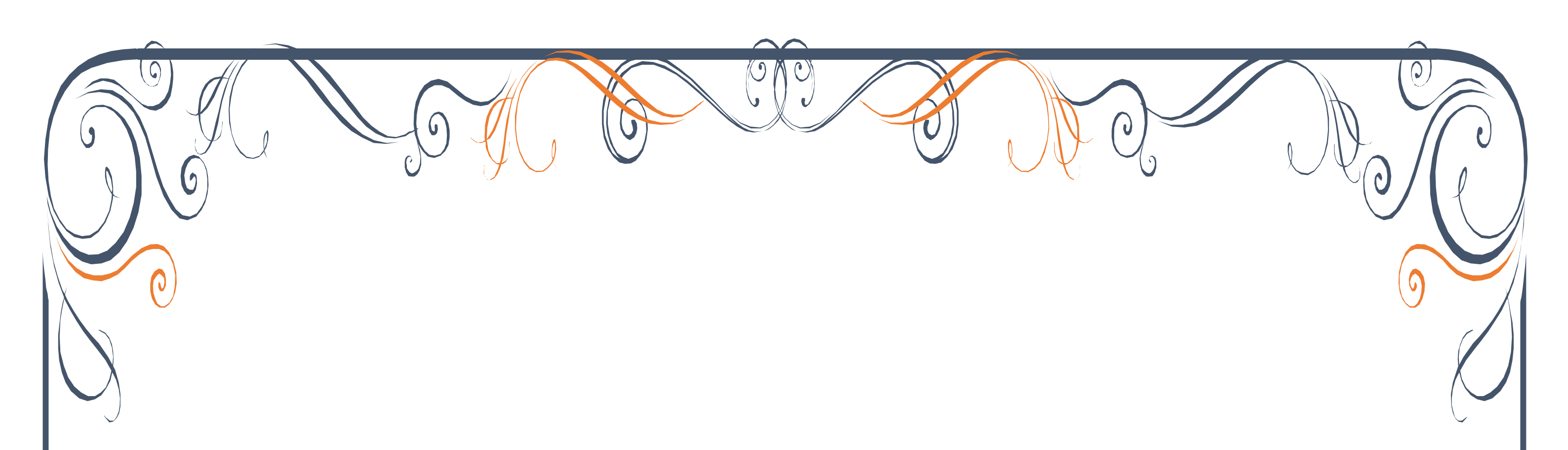
شكل (١٥ ــ ٢٧)

١٥ ــ ٥ ــ ٢ : التحكم فى سرعة المحركات البحرية Control of engine speed

تستخدم جميع أنواع المحركات المنظمات Governors للتحكم فى كمية الوقود اللازمة لتغذية المحرك أو كمية البخار اللازمة للتربينة البخارية عند الأحمال المختلفة حتى تحتفظ بسرعة ثابتة ، ويطلق على هذه الأنواع من المنظمات منظمات السرعة Speed-governors ، فإذا زادت قدرة الماكينة عن الحمل المطلوب زادت السرعة فيقلل المنظم كمية الوقود أو كمية البخار ، وبالعكس إذا زاد الحمل عن القدرة المعطية تقل السرعة فيزيد المنظم كمية الوقود ، ويستمر ذلك حتى تصل الماكينة إلى السرعة المطلوبة .

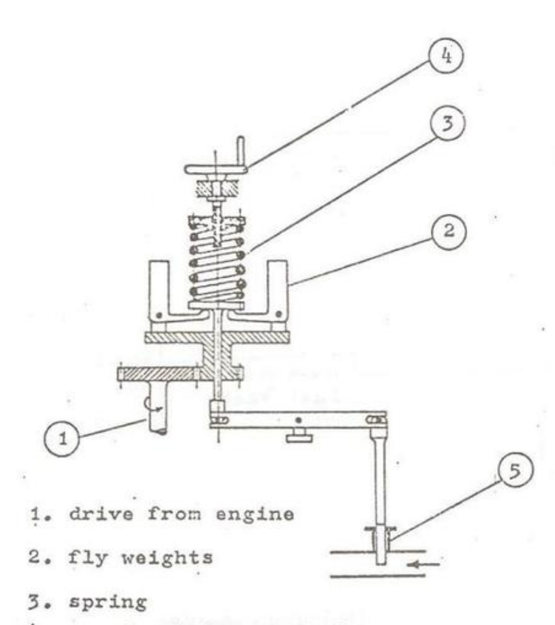
أما فكرة عمل المنظم فهى تنحصر كما هو واضح من شكل (١٥ ــ ٢٨) فى أخذ حركة الدوران من عمود المرفق إلى قاعدة عليها ثقلين قابلين للحركة حول مركزين ويتخذان الوضع الرأسى فى حالة الدوران على سرعة معينة بتأثير قوة الياى المثبت على

نسألكم من صالح الدعاء

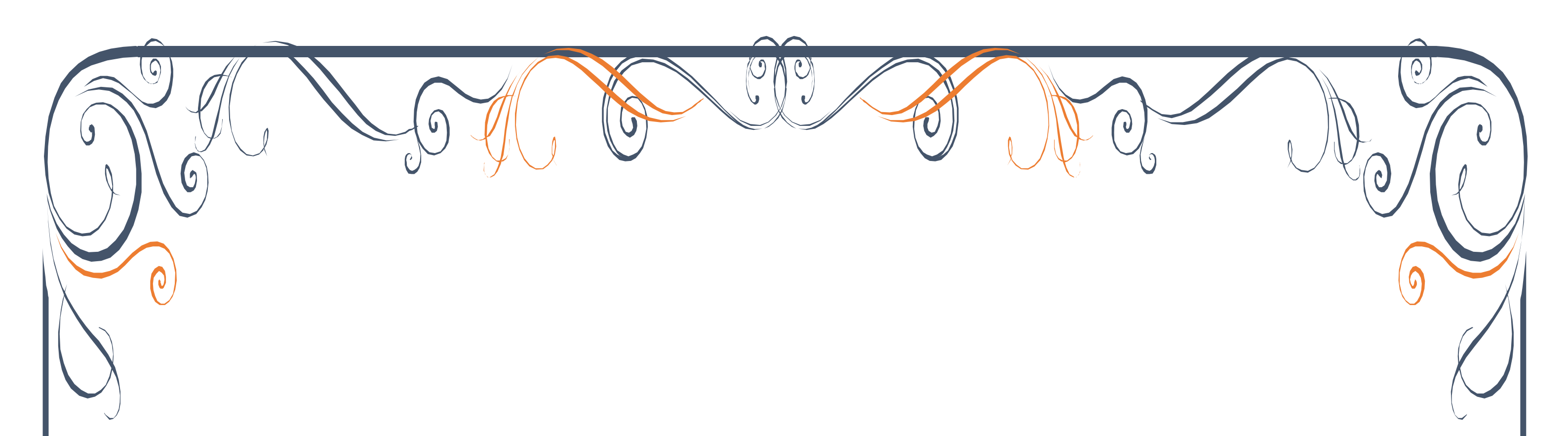


جلبة بعمود تتحرك حركة رأسية ومتصلة برافعة أفقية تتحرك حول مركز وتنقل هذه الحركة إلى ذراع متصل بجريدة التحكم Fuel-rack فى كمية الوقود المحقونة للاسطوانة .

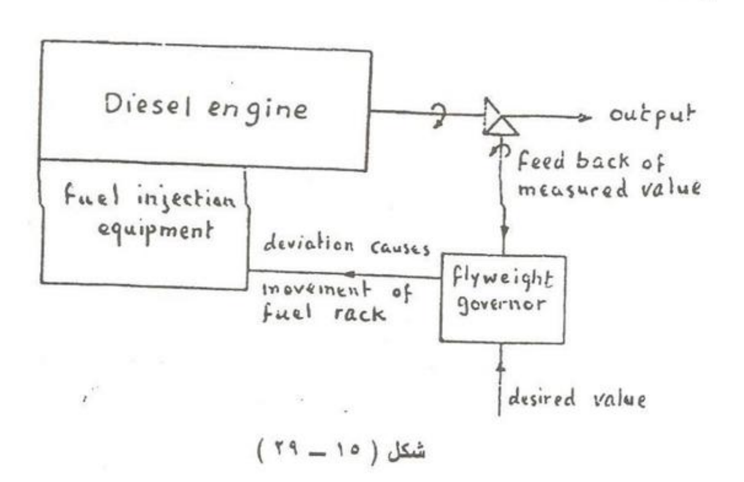
يبدأ المنظم بتحسس السرعة فإذا وجد أى اختلاف بينها وبين السرعة المقـدرة يبـدأ المنظم فى تغيير كمية الوقود طبقاً لما هو مطلوب .



شكل (١٥ ــ ٢٨)



ويمكن تمثيل ذلك بنظام التحكم المغلق شكل (١٥ ــ ٢٩) حيث تكون السرعة هى القيمة المقاسة Measured value وتعطى التغذية الخلفية Feed back للمقارن Comparator الذى يقارن قيمتها مع القيمة المحددة Desired value وعند وجود أى انحراف Deviation **سوف يؤثر على جريدة الوقود** ، أى أنه يتغير وضع الجريدة بما يتناسب مع الانحراف وعلى ذلك فإن هذا النوع من التحكم يسمى بالتحكم التناسبى Proportional - control وله بعض العيوب ، ولدراستها يجب الإلمام ببعض التعاريف الهامة :

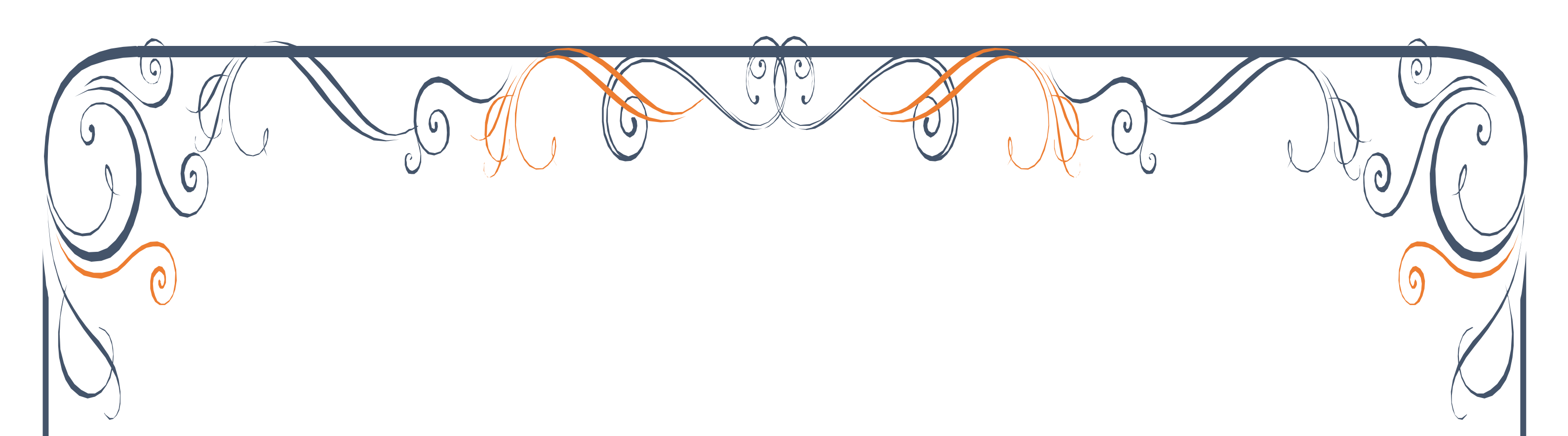


شكل (١٥ ــ ٢٩)

تعاريف Definitions

<u>الحساسية</u> : Sensitivity

وهى تعبر عن مقدار التغير فى سرعة المحرك حتى يصحح المنظم وضع أعضاء المعايرة ليناسب الحمل الجديد . ويحدث هذا التأخر فى عمل المنظم بسبب الجهد الذى يبذل للتغلب على الاحتكاك ، وهى تدل على الوقت الضائع الذى يمضى حتى يبدأ المنظم فى عمله .



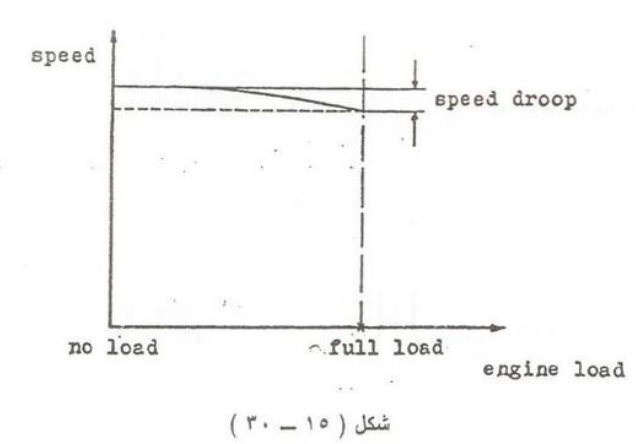
سرعة الاستجابة Response

وهى تعبر عن مدى استجابة المنظم لأداء عمله ، وهى تعتمد أساساً على قدرتــه ، أى أنه كلما زادت قدرة المنظم نقص الزمن الذى يحتاجه للتغلب على مقاومته الداخلية ، وهى تدل على مدى السرعة التى يتم بها المنظم هذا العمل .

ولما كان العمل الأساسى للمنظم بالنسبة لمحرك هو تصحيح سرعته ، فإن ازدياد درجة حساسيته تعجل من ابتدائه فى تصحيح السرعة ، كما أن احتوائه على درجة عاليه من دقة الاستجابة ، تجعله يسرع فى تحريك أعضاء المعايرة إلى وضعها الجديد ، ولذلك تعتبر كلاً من الحساسية ودرجة الاستجابة من الخصائص الهامة التى تدخل فى حسن أداء المنظم

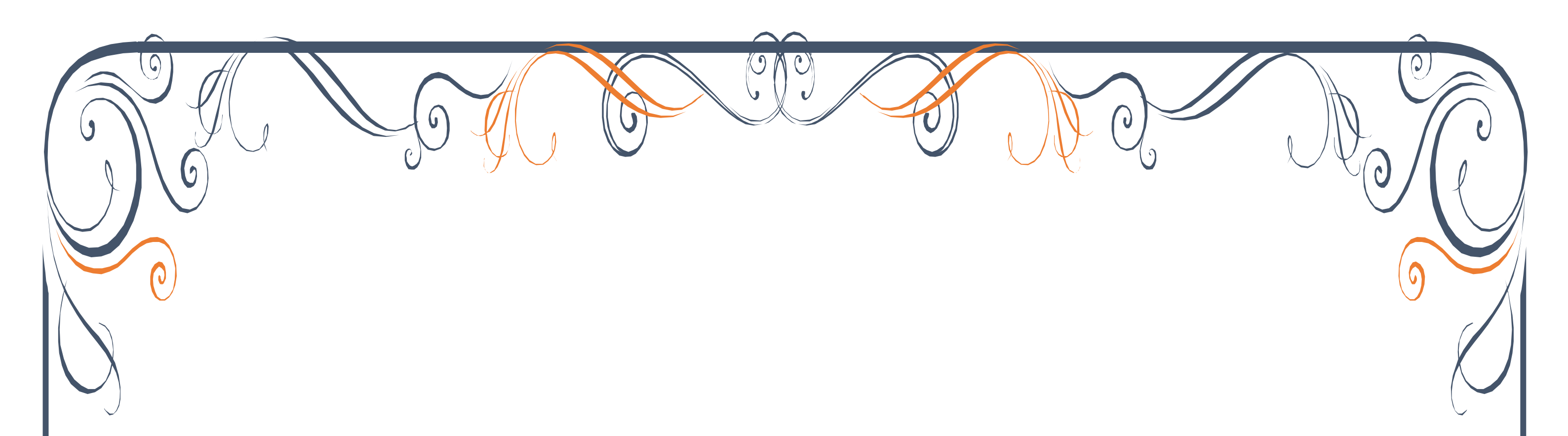
الوهـــن Speed-droop

هو مقدار التغير فى سرعة المحرك عند تحميله حملاً كاملاً من حالــة اللاحمــل ، أى مقدار النقص فى السرعة النهائية للمحرك عن مستواها الأصلى عند زيادة الحمــل ، كمــا يتضح فى الشكل (١٥ ــ ٣٠) . وتعتبر هذه القيمة الانحراف Offset .



شكل (١٥ ــ ٣٠)

والمنظـــم الموضـــح بالشـــكل (١٥ ــ ٢٨) هـو مـن المنظمـات الآليـة Mechanical-governor والتى من عيوبها الآتى :



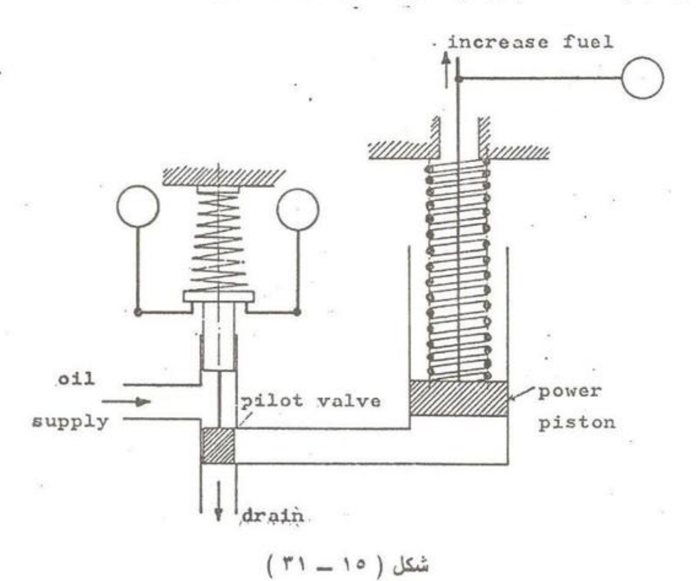
- ضعف حساسيتها .
- تظهر انحرافاً دائماً فى السرعة .
- ذات قدرة ضعيفة لتحريك أعضاء معايرة الوقود .

المنظمات الهيدروليكية Hydraulic governor

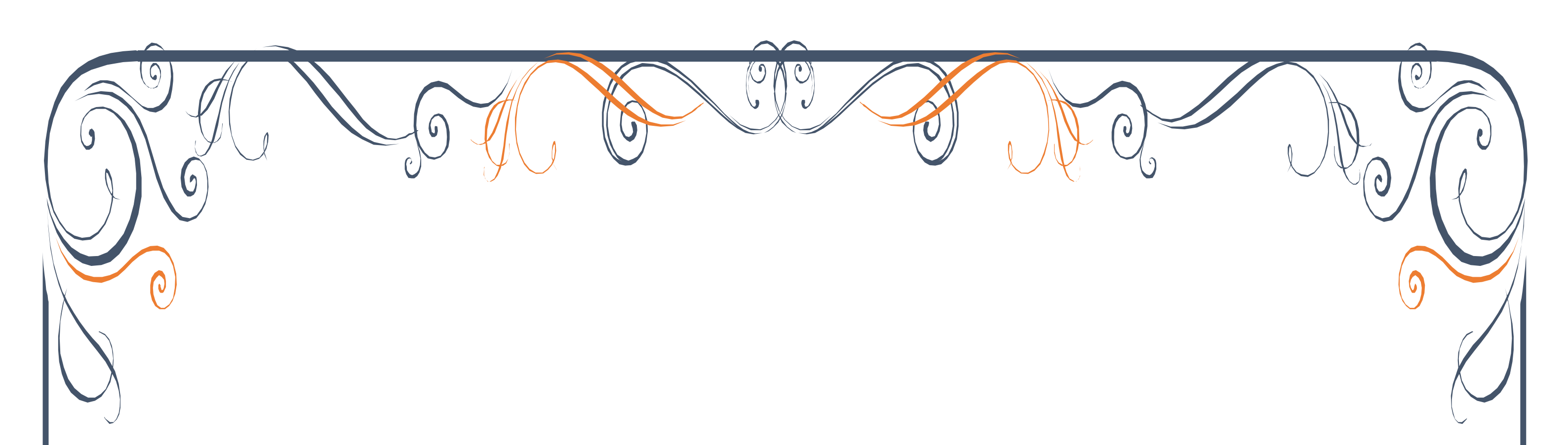
تتميز المنظمات الهيدروليكية عامة عن الآلية بالآتى :

- عظم حساسيتها .
- قدرتها على تثبيت سرعة المحرك عند قيمة واحدة .
- قدرتها على تحريك أجهـزة معايرة الوقود ، حيث تتحرك أعضـائها بواسـطة مؤازر Servo-motor ويطلق عليه اسم مكبس القدرة .

وشكل (١٥ ــ ٣١) يوضح النوع البدائى ، ويعمل كالآتى :



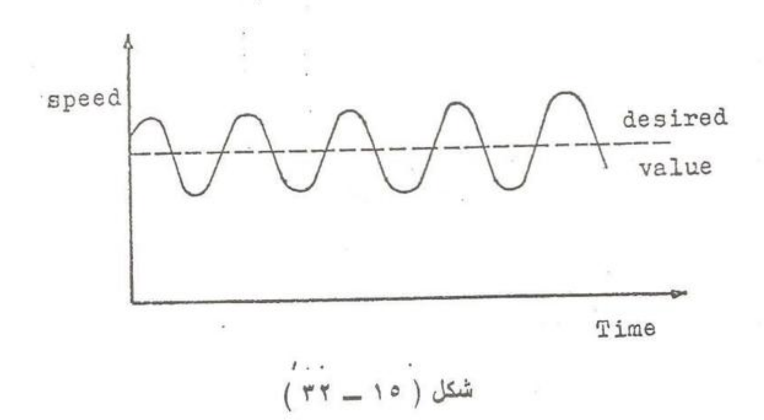
شكل (١٥ ــ ٣١)



عند انخفاض سرعة المحرك تبعاً لزيادة الحمل ، تتحرك الأثقال إلى الداخل ويتحرك صمام المرشد إلى أسفل ، حيث يكشف فتحة تنظيم الزيت المضغوط الذى يبدأ فى السريان إلى مكبس القدرة ، ويجبره على التحرك لأعلى أى فى الاتجاه الذى يزيد من تدفق الوقود على اسطوانات المحرك .

وعند ارتفاع سرعة المحرك ، بعد انخفاض الحمل ، تتحرك الأثقال إلى الخارج ، وبذلك يتحرك صمام المرشد إلى أعلى ليسمح بتفويت الزيت من أسفل مكبس القدرة ، وبتأثير الياى يتحرك المكبس لأسفل أى فى الاتجاه الذى ينقص من تدفق الوقود إلى الاسطوانات .

وأهم عيب فى هذا المنظم هو عدم اتزانه إلى درجة تجعله يظهر تأرجحاً مستمراً Hunts فى سرعة المحرك ، ويرجع هذا التأرجح إلى الوقت الضائع بين ابتداء عمل المنظم وابتداء استجابة المحرك لهذا العمل . كما فى الشكل (١٥ ــ ٣٢)

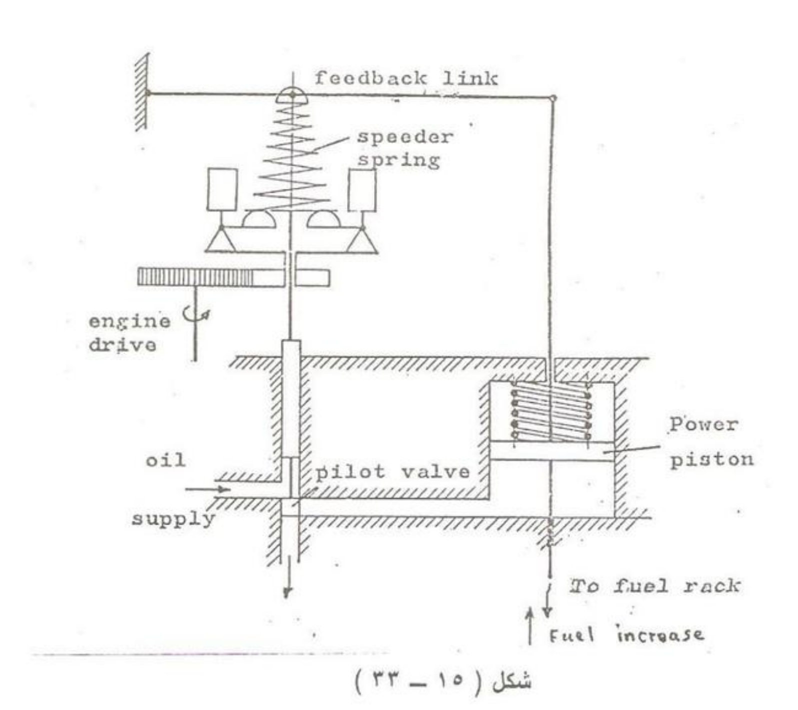


شكل (١٥ ــ ٣٢)

ولمنع هذا التأرجح تزود هذه المنظمات بوسائل خاصة تجعلها أكثر اتزاناً مثل تركيب رافعة التغذية الخلفية Feed back link من مكبس القدرة كما هو واضح فى شكل (١٥ ــ ٣٣) وهو من النوع ذات التحكم التناسبى .

وفعلاً يكون هذا المنظم أكثر اتزاناً وحساسية ولكن من عيوبه أنه ذو انحراف دائم فى السرعة ، ولذلك يمكن اعتباره من النوع الذى لا يثبت السرعة لأن النوع المثبت لها يسمح فقط بانحراف مؤقت فى السرعة بقصد الحصول على الاتزان اللازم .





شكل (١٥ ـ ٣٣)

ويمكن شرح طريقة عمله كالآتى :

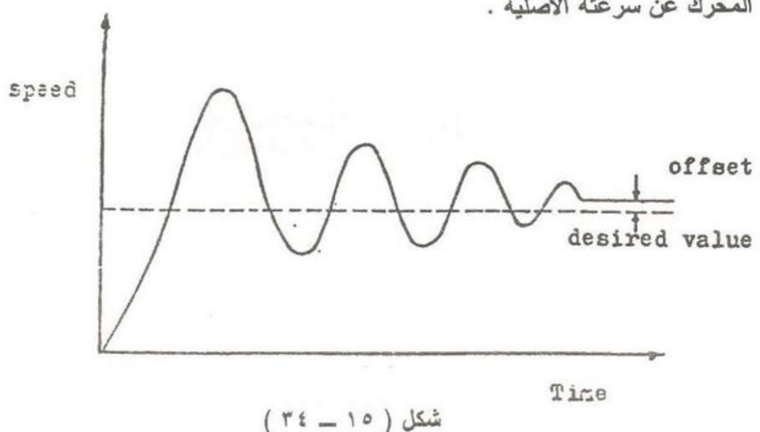
- عند زيادة الحمل تنخفض السرعة ، وتتحرك الأثقال إلى الداخل ، ويتحرك الصمام المرشد إلى أسفل ، ويبدأ الزيت المضغوط فى السريان إلى أسفل مكبس القدرة ويجبره على التحرك إلى أعلى وفى هذه الحالة يزيد الوقود .
- يدفع مكبس القدرة أثناء تحركه إلى أعلى الطرف المواجه له من رافعة التغذية الخلفية ، وبذلك ينقص من قوة إنضغاط الياى .
- تتحرك الأثقال إلى الخارج وبذلك يتحرك صمام المرشد إلى أعلى ببطء وتنغلق فتحات التنظيم حيث تتخذ الأثقال الوضع الرأسى ، ومن ثم يتوقف مكبس القدرة عن الحركة .
- يؤدى نقص قوة الياى إلى خفض سرعة المحرك عن سرعته الأصلية قبل زيادة



الحمل ، وذلك من أجل خفض قيمة القوة الطاردة المركزية التـى سـتوازن القـوة الجديدة للياى.

ومن ذلك يلاحظ أن رافعة التغذية الخلفية قد أوقفت تأرجح المنظم ، وذلك بإيقاف مكبس القدرة عن التحرك ، قبل أن يصل المحرك لسـرعته الأصليـة كم هو مبين فى الشكل (١٥ ــ ٣٤) ويتضح وجود انحراف دائم .

وهكذا بالنسبة لحالة انخفاض الحمل ، تزيد قوة الياى مما يتسبب عنه ارتفاع سـرعة المحرك عن سرعته الأصلية .



شكل (١٥ ــ ٣٤)

ويلاحظ أن الياى يكون من النوع المخروطى حيث أن قوة انضغاطها تختلف بـاختلاف سرعة المحرك ، أى تقل قوتها عند السرعات المنخفضة وتزيد عند السرعات العالية .

المنظم ذو السرعة الثابتة Iso-chronous hydraulic governor

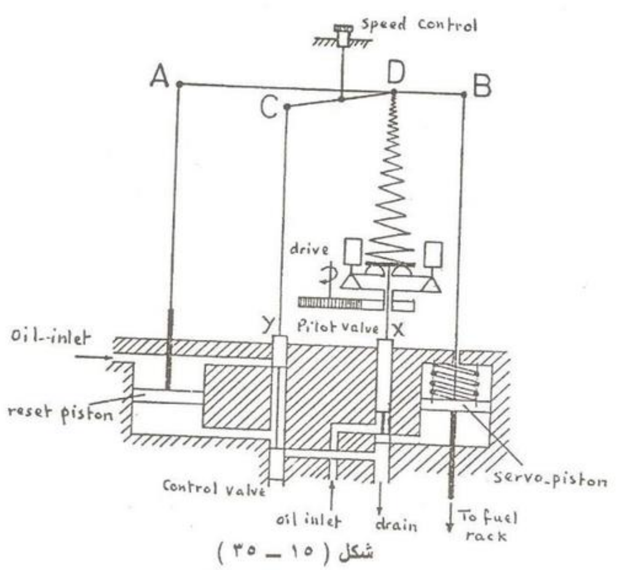
ويعمل هذا المنظم بتأثير التحكم التناسبى والتكاملى Proportional and integral action ليجعل السرعة ثابتة على الأحمال المختلفة ، فهو ذو اتزان مؤقت فى السرعة بحيث يزول هذا الانحراف تدريجياً أثناء استجابة المحرك لهذا التصحيح واسترجاعه لسرعته الأصلية .

أى يتم عمل هذه المنظمات طبقاً للخطوتين الآتيتين :

١. السماح بانحراف مؤقت فى السرعة عند معايرة الوقود .
٢. التخلص من هذا الانحراف أثناء استجابة المحرك للتغير فـى معـدل الوقـود واسترجاعه لسرعته الأصلية .



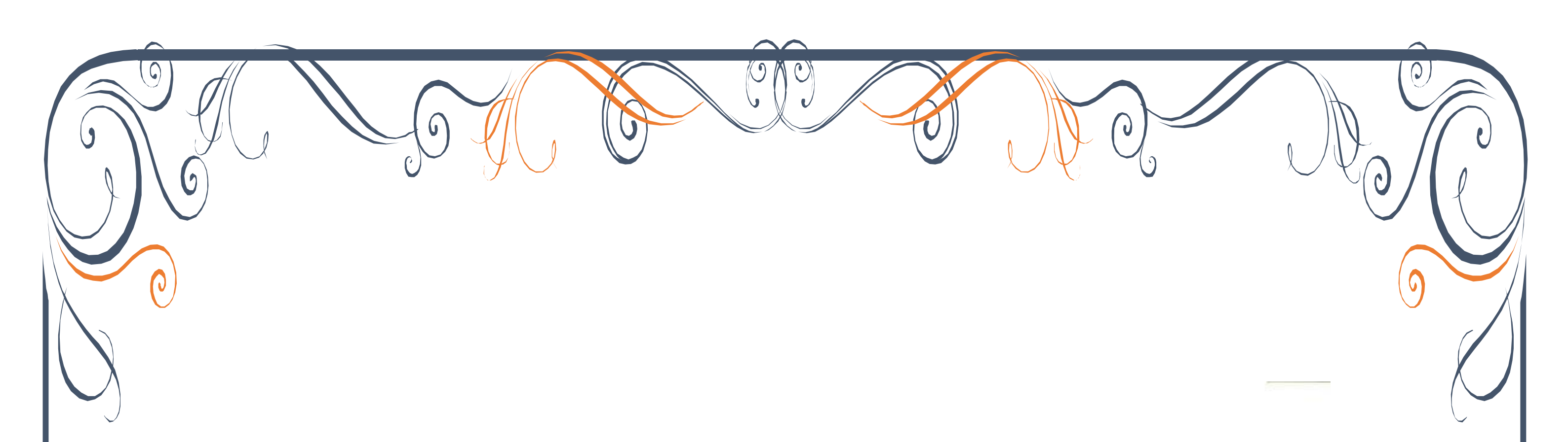
والشكل (١٥ ــ ٣٥) يوضح رسم تخطيطى لأحد هذه الأنواع :



شكل (١٥ ــ ٣٥)

عند زيادة الحمل على المحرك ، تتحرك الأثقال قطرياً للداخل ، ويتحرك صمام المرشد X لأسفل سامحاً بمرور الزيت المضغوط إلى أسفل مكبس القدرة ، حيث يجبره للتحرك لأعلى ضد الياى ، <u>ويؤدى ذلك إلى :</u>

- زيادة كمية الوقود للمحرك .
- تحريك رافعة التغذية الخلفية A-B فى عكس اتجاه عقارب الساعة متمركزة مبدئياً حول النقطة A (حيث أن الضغط يكون متساوى على وجهى مكبس فعل التصحيح) وتتحرك النقطة D لأعلى وينفرد الياى . ويتبعها تحريك الرافعة C-D كذلك فى عكس اتجاه عقارب الساعة، مما يعمل على نزول صمام التحكم Y لأسفل سامحاً بتصريف بعض الزيت من أسفل مكبس فعل التصحيح ويقلل الضغط مما يجعله يتحرك أسفل ، أى يسمح بدوران رافعة التغذية الخلفية A-B حول النقطة B وبهذا



تعود النقطة D إلى مكانها الأصلى قبل التغير فى السرعة .

وتدور الرافعة C-D فى اتجاه عقارب الساعة ويغلق صمام التحكمYعلى مكبس فعـل التصحيح حيث يتخذ وضع تعادل جديد .

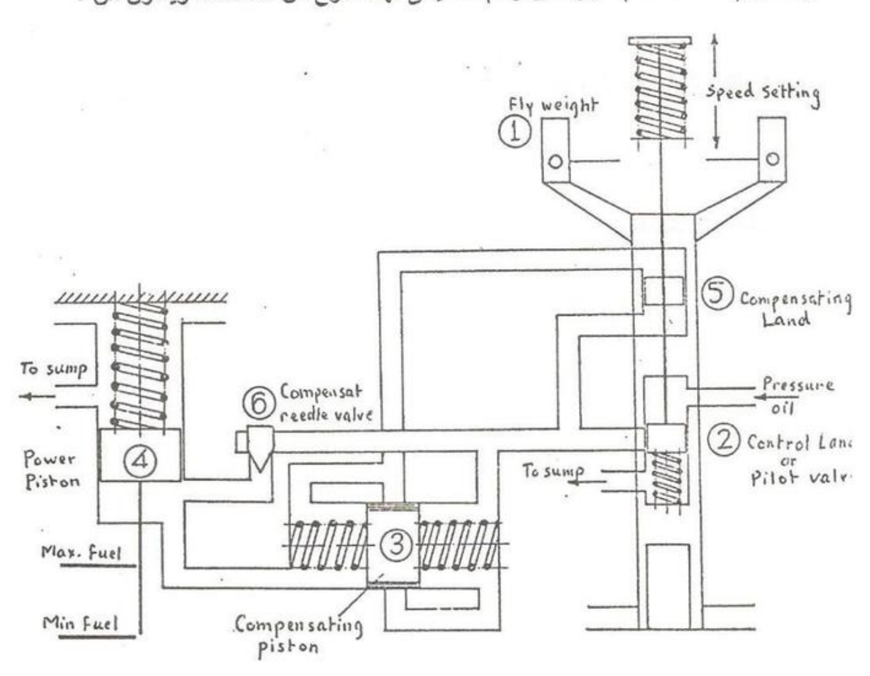
وبذلك يدور المحرك بسرعته الأصلية ، ولكن بكمية وقود أكبر ، ويكون النقص فـى السرعة الذى وجد أثناء التغير فى وضع المكابس عابرا Transient .

<u>المنظمات ذات التحكم بالتناسب و التكامل والمعدل</u>

Governor with proportional, reset and derivative action

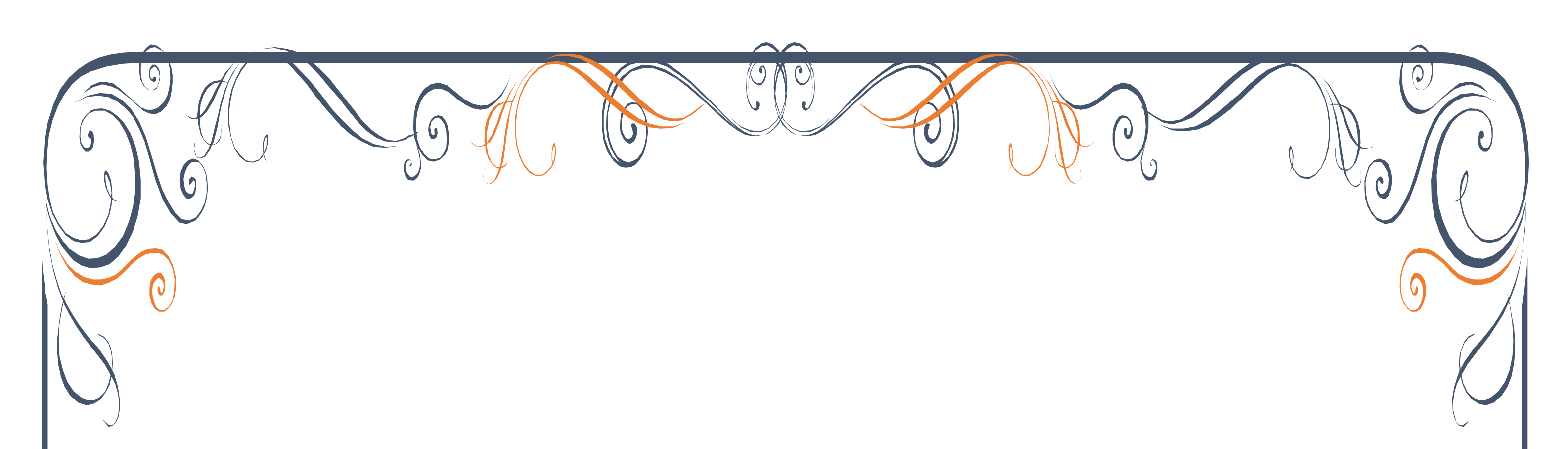
يكون من الضرورى فى بعض الأحيان أن يتجاذب المنظم بسرعة عند التغير الفجـائى للحمل أو السرعة ، ولهذا الغرض يستخدم المنظم ذات التحكم بالتناسب والتكامل والمعدل .

والشكل (١٥ ــ ٣٦) عبارة عن رسم تخطيطى لهذا النوع من المنظمات ويتكون من :



شكل (١٥ـ٣٦)





١) أثقال التوازن ٢) صمام التحكم .

٣) مكبس التعادل محملة بيايين . ٤) مكبس القوة .

٥) أسطوانة التعادل . ٦) صمام الإبرة .

فى حالة التشغيل العادى يتخذ مكبس التعادل (٣) وضع المنتصف فى الاسطوانه ، أى غالقاً للفتحات ، وكذلك صمام المرشد (٢) ، وتكون الأثقال فى الوضع الرأسى .

ولنفرض زيادة السرعة ، فتتحرك تبعاً لذلك الأثقال إلى الخارج مسببة رفع كباس صمام المرشد (٢) إلى أعلى فيسمح باتصال أيمن اسطوانة التعادل (٣) بالصهريج ويهرب الزيت وينخفض الضغط ، ويؤدى هذا إلى تحريك المكبس (٣) إلى اليمين بتأثير الياى الأيسر ويفتح الطريق ليسمح بتهريب الزيت من تحت مكبس اسطوانة القوة (٤) إلى الصهريج ويقفل الوقود أو يقلل تدفقه فتقل السرعة .

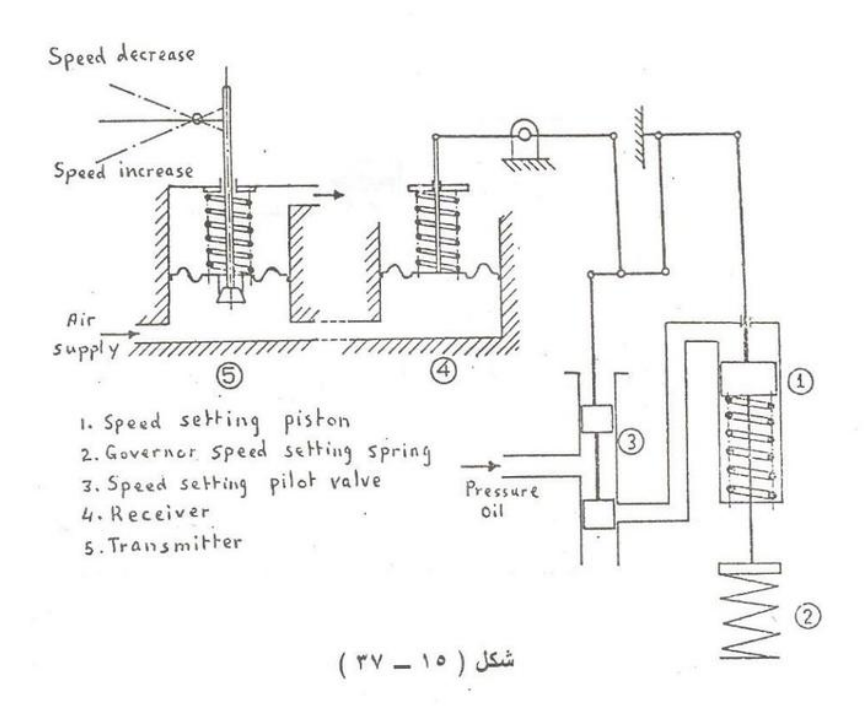
وإن عملية إنضغاط الياى فى الجزء الأيمن لاسطوانة التعادل (٣) وتحرك المكبس تجعل الضغط فى الجزء الأيسر أعلى نسبياً من الضغط فى الجزء الأيمن وكذلك أعلى فى الجزء العلوى من اسطوانة التعادل .

كما وأن تقليل سرعة المحرك تجعل الأثقال تتحرك إلى الداخل وتسبب نزول كباس صمام المرشد إلى أسفل حتى يتخذ وضع التعادل ويقفل الفتحات أى توقف حركة مكبس القوة (٤) وبذلك تكون عند وضع يسمح بمقدار وقود يناسب سرعة المحرك . ويتم توازن ضغوط الزيت المختلفة فى اسطوانتى التعادل (٣ ، ٥) بواسطة صمام الإبرة (٦) ويتخذ مكبس التعادل وضع الوسط فى الاسطوانه (٣) .

وبعد تتابع هذه العمليات يعود المحرك للسير على سرعته الأصلية بالرغم من تغيير الحمل وتغيير كمية الوقود .

وهذا النوع من المنظمات يستخدم فى المحركات الرئيسية حيث أن السرعات متغيرة ويمكن تغيير قوة ياى المنظم بواسطة مشغل كهربى أو هوائى كما فى شكل (١٥ ـ ٣٧).





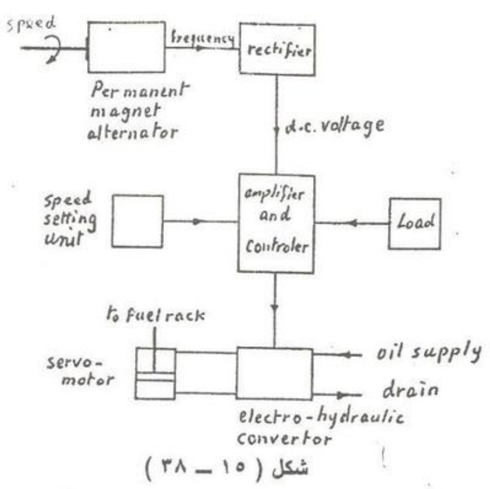
شكل (١٥ ــ ٣٧)

<u>المنظم الكهربى</u> Electric governor

ويعمل هذا المنظم بتأثير التحكم التناسبى والتكاملى بالإضافة إلى تأثير الحمل . ويتكون كما هو واضح بالشكل (١٥ ــ ٣٨) من الآتى :

مولد تيار متردد صغير ذو مغناطيس دائم ليعطى الإشارة وهى جهد متردد يتناسب مع السرعة ، وتتحرك الإشارة المترددة الناتجة عن جهد التيار المتردد المتولد إلى جهد تيار مستمر مناسباً للسرعة فى الموحد Rectifier ثم تنتقل إلى جهاز مكبر وتحكم Amplifier and controller ذو تغذية خلفية داخلية حيث تعطى له إشارة أخرى ذات القيمة المطلوبة Desired speed من وحدة وضع السرعة Speed setting unit .





شكل (١٥ ــ ٣٨)

عند تساوى الجهدين واختلافهما فى الوجه يلغى كل منهما الآخر ، ولا تظهر أى إشارة ولكن عند اختلاف الجهدين ترسل إشارة إلى المحول الكهربى الهيدروليكى الذى عن طريق مؤازر Servo-motor يغير من وضع جريدة الوقود ، حتى تكون السرعة ثابتة .

وهناك أنواع كثيرة من المنظمات تقوم بأعمال أخرى منها الآتى :

ــ منظم السرعة المتغيرة : Variable-speed governor

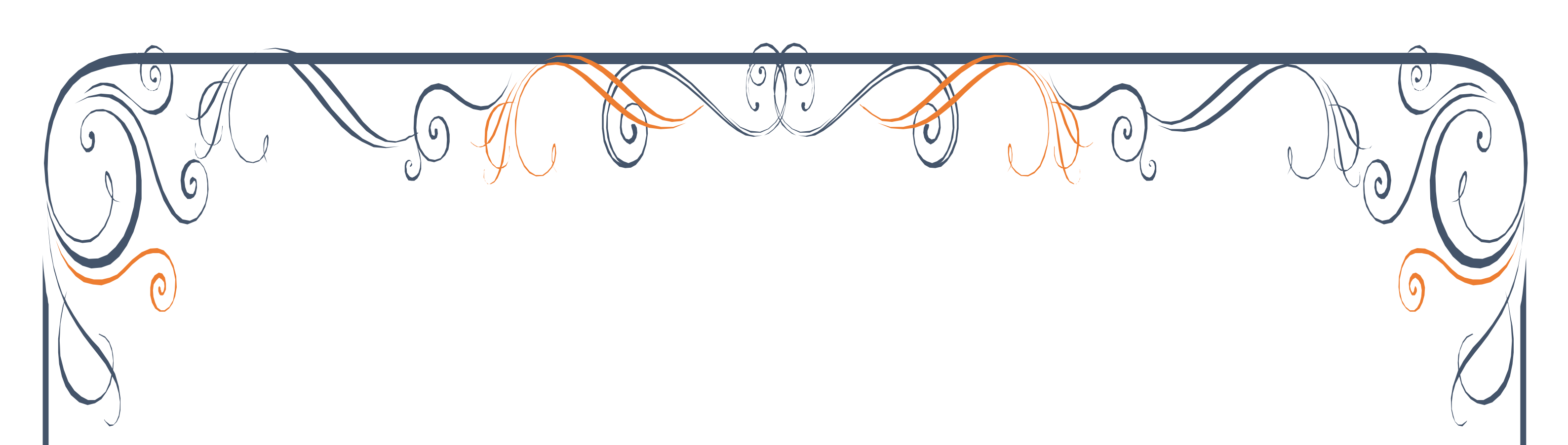
ويعمل على تثبيت سرعة المحرك عند أى سرعة مختارة وقد تبدأ من سرعة الإدارة إلى أقصى سرعة ممكنة .

ــ منظم تحديد السرعة : Speed-limiting governor

وهو ينظم أقصى سرعة للمحرك أو أقلها ، وفى الحالة الأولى يسمى منظم السرعة القصوى Over-speed governor ، وهو ليس له تأثير بين حدى السرعة التى صمم عليها .

ــ منظم تحديد الحمل : Load-limiting governor

يحدد حمل المحرك عند أى سرعة كانت بقصد منع تحميل المحرك فوق طاقته عند جميع السرعات التى يدور عندها .



— منظم تنظيم الحمل : Load-control governor

يتحكم فى مقدار حمل المحرك ليناسب قدرته المولدة عند سرعة دورانه ، ويستخدم عادة على القاطرات للاقتصاد فى الوقود .

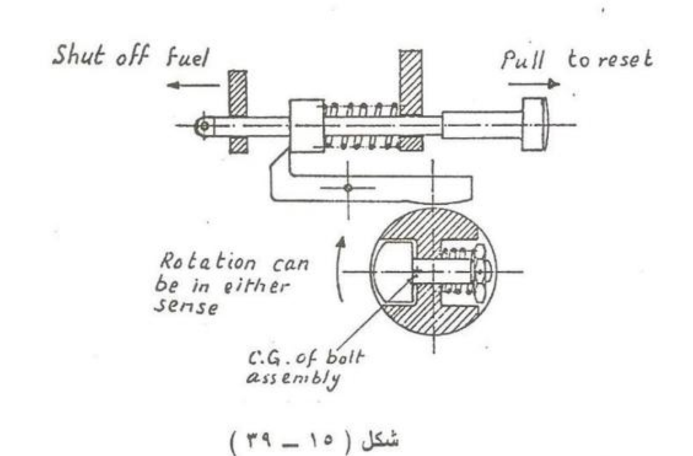
— منظم تنظيم الضغط Pressure regulating governor

ويستخدم فى حالة إدارة مضخة وذلك للاحتفاظ بضغط السحب والطرد .

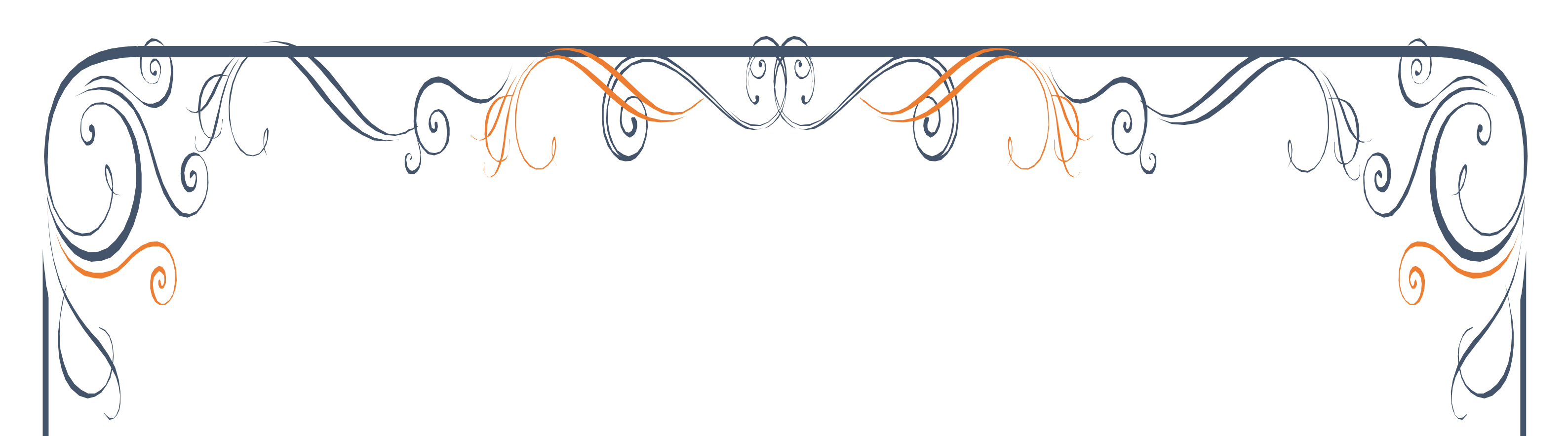
منظم إيقاف المحرك عند تجاوز السرعة المأمونة Over-speed trip

ويعتبر كجهاز أمان فقط .

ويعمل منظم السرعة القصوى فقط فى حالة فشل منظم السرعة العادى أو عدم وجوده ، حيث يقطع الوقود فوراً عند زيادة السرعة بمقدار ٥% عن السرعة العادية حتى تعود لأصلها ، ثم يعيد فتح الوقود — أما منظم إيقاف المحرك عند تجاوز السرعة المأمونة يقطع الوقود عن المحرك ، ويلزم إعادة تشغيله يدوياً . ويعتبر هام فى حالة المحركات الرئيسية أو المساعدة التى يفصل عنها الرفاص أو يرفع عنها الحمل فجأة . والشكل (١٥ — ٣٩) يوضح أحد أنواعه .

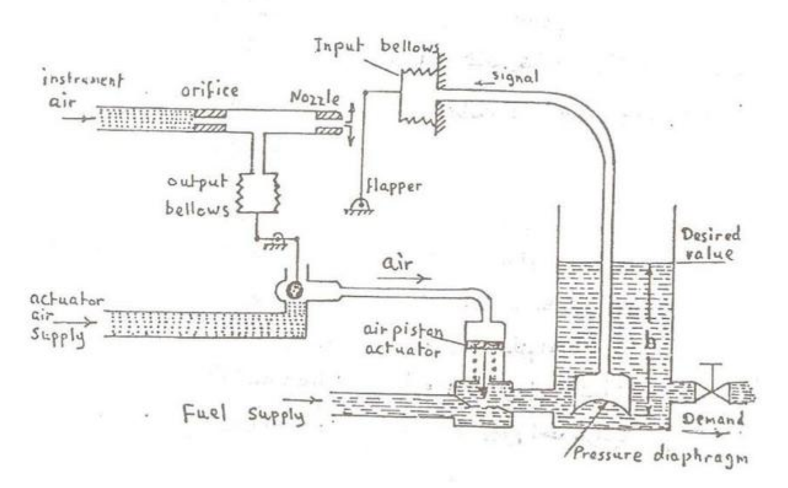


شكل (١٥ — ٣٩)



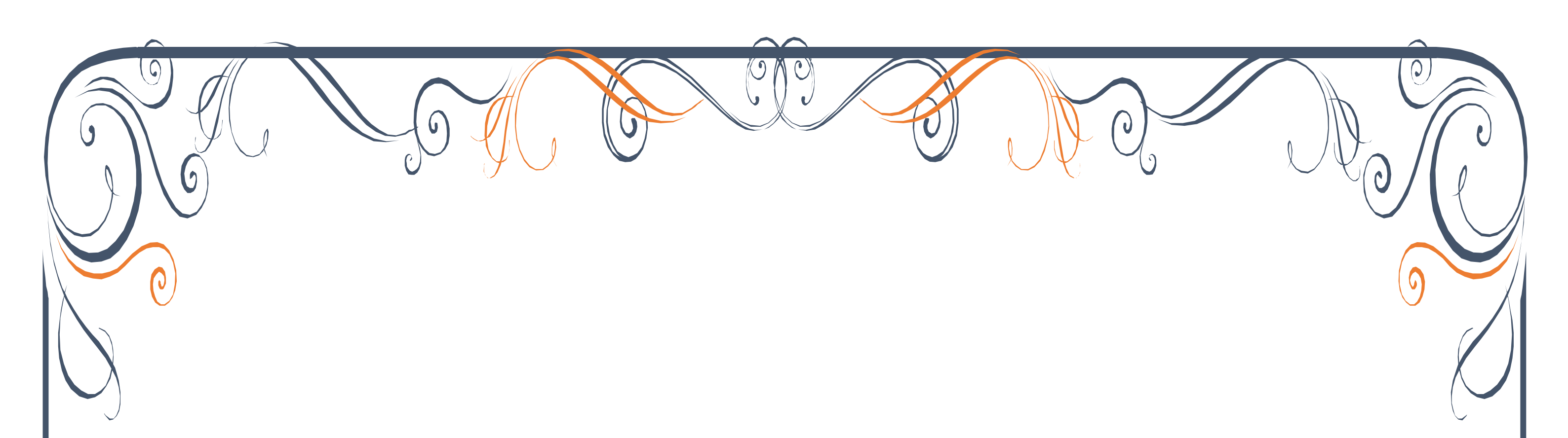
١٥ ــ ٥ ــ ٣ : التحكم فى مستوى صهريج الوقود Level control

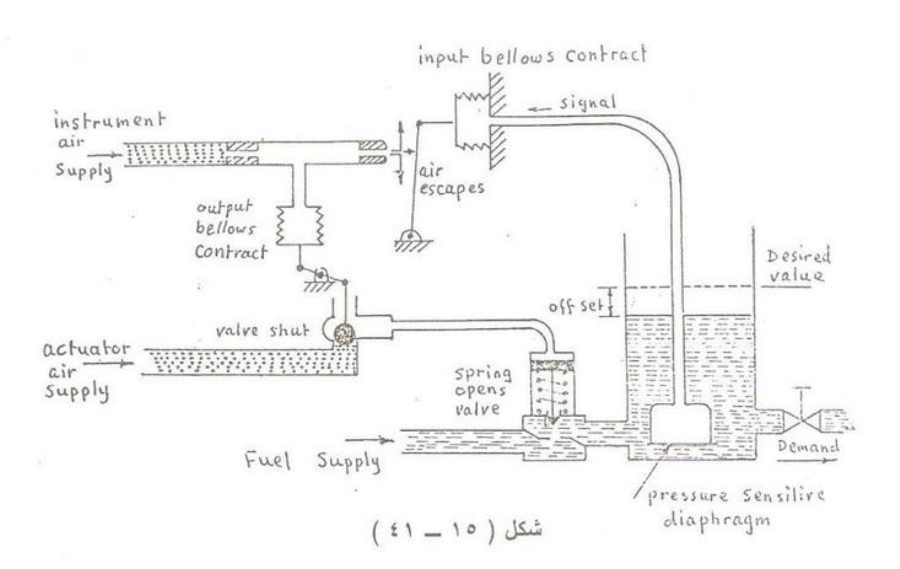
باستخدام طريقة التحكم الهوائية Pneumatic controller للاحتفاظ بمستوى الوقـود فى الصهريج ويمكن توضيح فكرتها بالنظر للشكل (١٥ ــ ٤٠) . عند وصول مستوى الوقود للارتفاع h يأخذ المنفاخ bellows الوضع المبين بالشكل جاعلاً الرفرف flapper فى الوضع الرأسى مسبباً تسرب بعض الهواء والذى يؤدى إلى وضع معين للصمام الكـروى سامحاً بدخول بعض الهواء إلى المشغل الهوائى ، فيجعل الصمام الحاكم مقفلاً .



شكل (١٥ ــ ٤٠)

أما إذا قل المنسوب عن المستوى المطلوب كما هو واضح بالشكل (١٥ ــ ٤١) يقل الضغط داخل الأنبوبة والمنفاخ فيتقلص ويجذب الرفرف لليمين سامحاً بتسرب أكبر للهواء من الفوهة ، فيتقلص المنفاخ الآخر عاملاً على قفل الصمام الكروى مسبباً عـدم دخـول الهواء إلى المشغل فيفتح الصمام الحاكم كلية مما يؤدى إلى زيـادة تـدفق الوقـود إلـى الصهاريج .





شكل (١٥ ــ ٤١)

١٥ ــ ٥ ــ ٤ : استخدام الدوائر المنطقية في التحكم والتشغيل لمحركات الديزل :

Use of logic circuits control and operation of D.E.

نظراً للتقدم الهائل فى تكنولوجيا المكونـــات الكهربيـــة وظهـــور الـــدوائر المتكاملـــة والحاسبات الإلكترونية الدقيقة ــ أمكن تصميم مجموعة دوائر منطقية تقوم بجميع العمليات التى يقوم بها المهندس عند بدء التشغيل وهى :

١ ــ التأكد من أن هواء التشغيل ذو ضغط يكفى لبدء عمل المحرك .

٢ ــ التأكد من صحة اتجاه الدوران للماكينة أمام أو خلف .

٣ ــ الوضع الصحيح لذراع الوقود فى وضع بدء التشغيل .

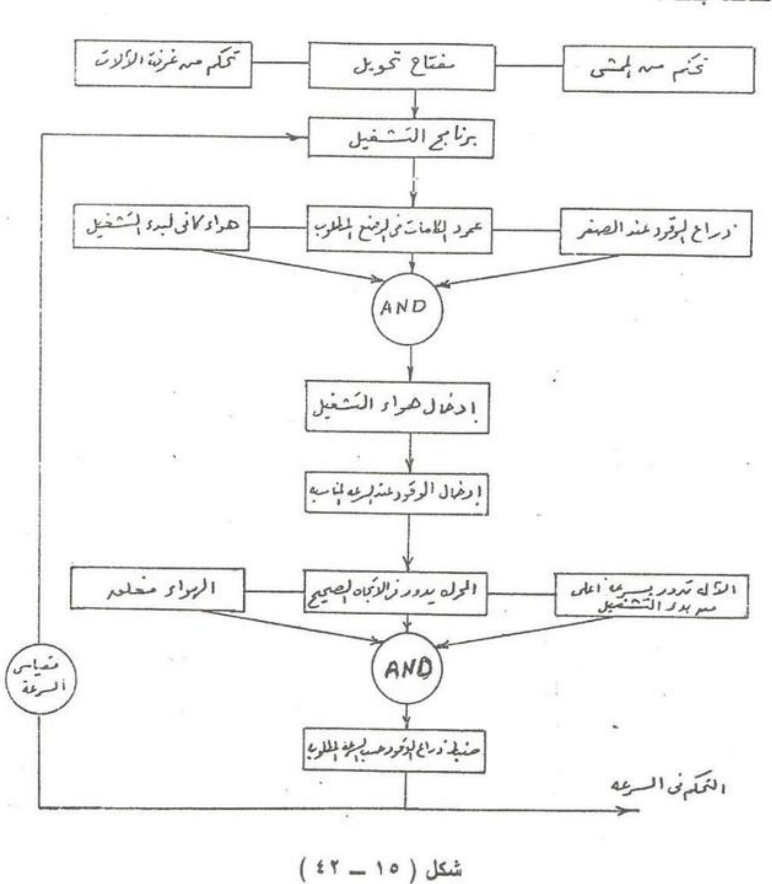
٤ ــ إدخال هواء التشغيل .

٥ ــ التأكد من أن الماكينات بدأت فى الدوران وفى الاتجاه الصحيح .

٦ ــ التحكم فى سرعة الماكينة حسب المطلوب ، مع مراعاة عبور منطقة السرعة الحرجة . (شكل (١٥ ــ ٤٢)



ويكفى لبدء عمل هذه الدوائر الضغط على مفتاح التشغيل فقط لتبدأ سلسلة من العمليات المنطقية كما هو واضح بالشكل،ذلك لتنفيذ الخطوات السابقة مع إعطاء كافة البيانات الهامة لكل مرحلة من مراحل التشغيل . وفى حالة حدوث أية أعطال تقوم الدوائر بإعطاء الإنذارات والمعلومات اللازمة للإصلاح ــ وتعمل هذه الدوائر أيضاً على تحاشى منطقــة الســرعات الحرجة ــ ويمكن تقليل زمن زيادة السرعة فى حالات المناورة والطوارئ باستخدام الأزرار الخاصة بذلك .

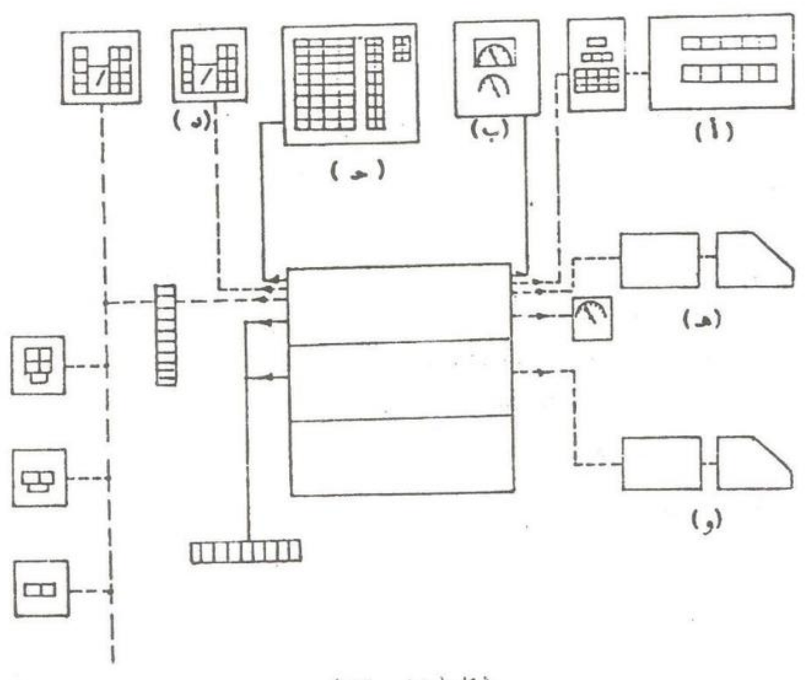


شكل (١٥ ــ ٤٢)



١٥ ـ ٦ منظومة التحكم الآلية U.M.S

Unmanned machinery space



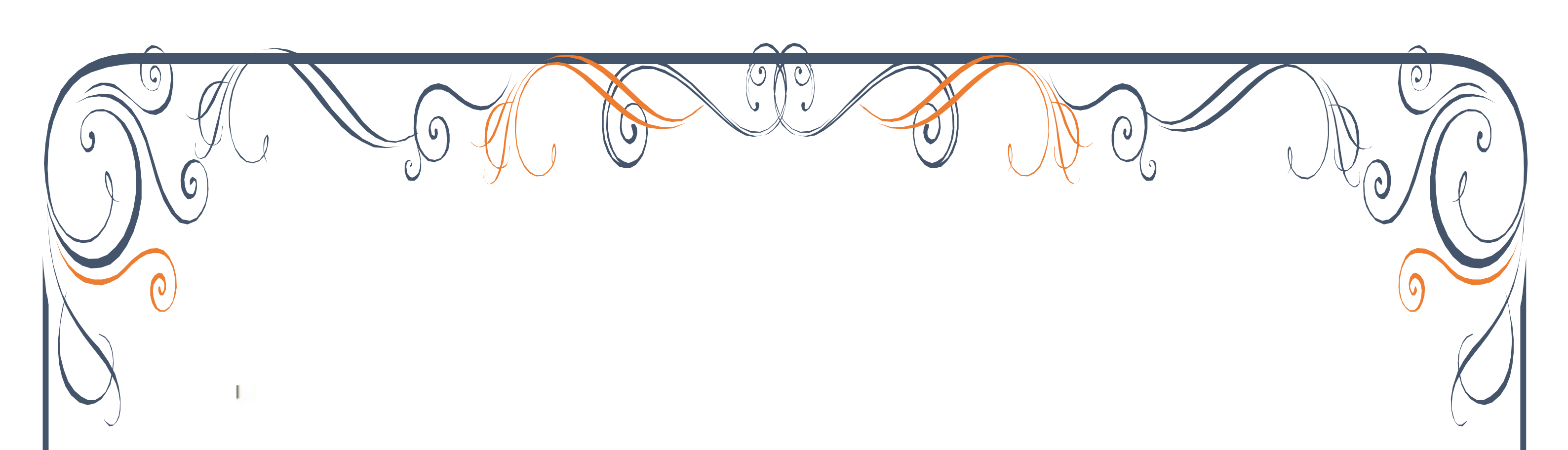
شكل (١٥ ـ ٤٣)

وتتكون هذه المنظومة كما فى شكل (١٥ ـ ٤٣) من الآتى :

أ ـ وحدات البيان الرقمية بنظام الاختيار Digital display with selector system

وتستقبل هذه الوحدات الإشارات التناظرية من أجهزة القياس والتحويل مثل الضغوط ودرجات الحرارة ومستويات السوائل ... الخ . وتعمل على بياناتها بطريقة رقمية باستخدام مفتاح التحويل مع إظهار النهايات العظمى والصغرى لقيمة كل متغير من المتغيرات .





ب ــ وحدة أجهزة القياس بنظام الاختيار :

Joint instrument with selector switch

وتعمل على إظهار عدد يصل إلى ٤٠ متغير من المتغيرات المختلفة بالطريقة التناظرية Analogue حيث يتصل كل متغير بدائرة متكاملة تتصل بوحدة المسح Scanner مما يقلل من حجم الأجهزة المطلوبة للبيان .

جـ ــ لوحة الإنذار : Alarming panel

ويتصل بها عدد من لمبات البيان التى يكتب على كل منها اسم المتغير الــذى تمثلــه . وتضئ هذه اللمبات فى حالة تعدى المتغير المناظر القيمة المحددة له وذلك لتيسير عمليــة اكتشاف وإصلاح الأعطال ومتابعة الحالة العامة للتشغيل بالسفينة .

د ــ لوحة تشغيل غرفة الآلات : Operating U.M.S. panel engine room

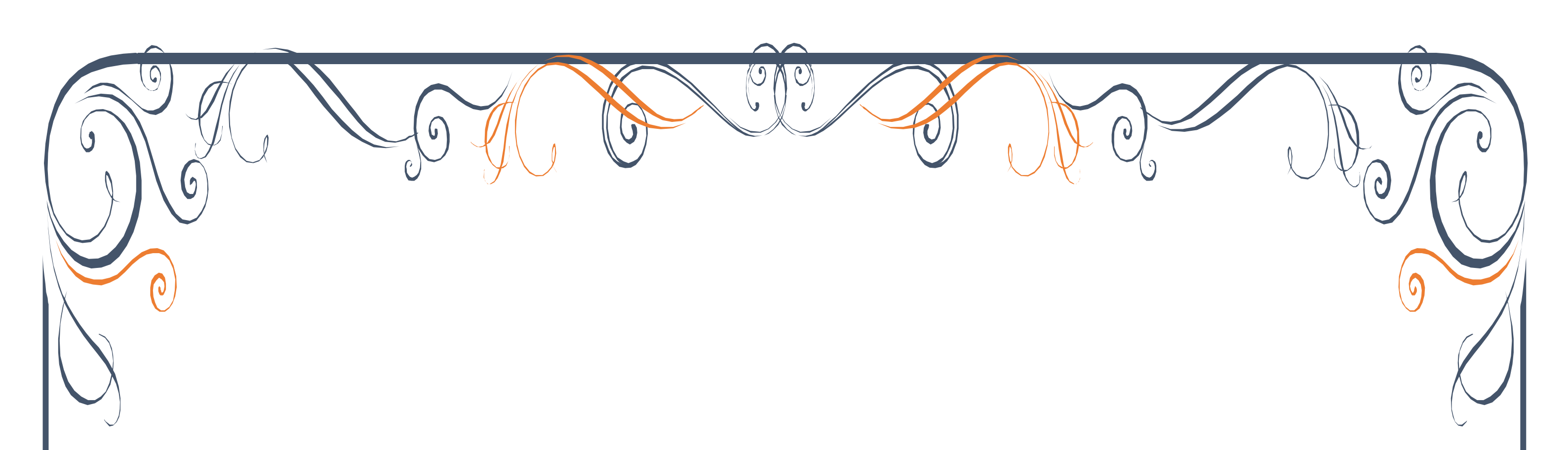
ويتصل بهذه اللوحة جميع المفاتيح والضوابط اللازمة لبدء التشغيل وزيــادة الســرعة والتحكم فى مسار السفينة وكذلك وحدات التحكم عن بعد لتشغيل المضخات وفتح الصمامات ... الخ . ويوجد بها أيضاً مفتاح تحويل التحكم من غرفة الآلات إلى الممشى ومفتاح إبطال صوت الإنذار ومبينات المراقبة المستمرة . وتوجد وحدة مناظرة لها تماماً فــى الممشــى U.M.S. Panel bridge .

هـ ــ وحدات تسجيل المعلومات : Date recording

وتتصل بآلة كاتبة لتسجيل المتغيرات المختلفة بطريقة منتظمة أو حسب طلب المشرف على التشغيل . ويمكن لهذه الوحدات إظهار رسم تخطيطى للوحدات العاملة بالسفينة علــى شاشة فيديو وتحديد فقط الاختبارات الهامة

و ــ تسجيل الإنذار بالتوالى : Alarm sequence recorder

وهى وحدة تسجيل الوقت والتاريخ عن حدوث أى عطل مفاجئ ونوع العطــل وكــذلك الأوامر الصادرة الخاصة بتشغيل الماكينة للرجوع إليها فى حالات الضرورة .



١٥ ـ ٧ منظومة تشخيص المحرك الديزل البحرى

Marine diesel engine diagnostic system

مقدمة :

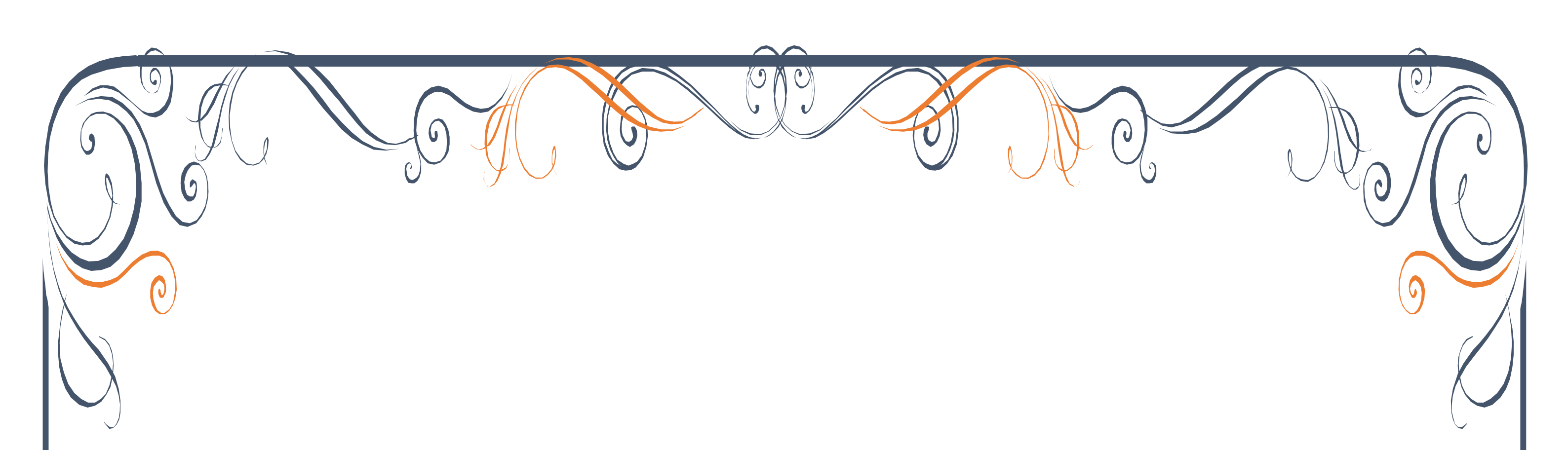
نلاحظ فى السنوات الأخيرة التقدم الهائل فى صناعة السفن ، وقد بنيت الناقلات ذات الحمولات الكبيرة (العملاقة) وكذلك السفن ذات السرعات العالية (مثل سفن الحاويات) .
ونتيجة لذلك فإن الحاجة لمحطات قوى ذات قدرات عالية أصبحت ملحة وبالتبعية فإن تكلفة التوقف تصبح باهظة . ولكى يكون بهذه السفن عائد سنوى كبير يشترط أن تكون الفترة طويلة بين دورات الإصلاح الشامل ، وأن تكون فترة الإصلاح نفسها أقصر ما يمكن.
وقد ظهر واضحاً من فترة ان هذه المتطلبات تتحقق عن طريق وصول المعلومات الكافية عن حالة الماكينة إلى المهندسين المختصين وخاصة فى حالة السفن المجهزة للإبحار بدون المراقبة البشرية لغرف الماكينات ــ ولذلك نجد عديداً من هذه السفن تحمل مسجلاً للمعلومات عن المحرك التى يمد المهندسين بالكثير من المعرفة عن حالة التشغيل ، ولكن تفسير تلك المعلومات وتحليل العيوب والوقاية من الأخطاء متروك للمهندس المسئول، كما أنها لا تعطى أى معلومات عن الصيانة والتى تجرى حسب خطة موضوعة .
ولذلك فإن منظومة تشخيص حالة الماكينة أو المنظومة الوقائية هى لجمع وتفسير المعلومات ، وقد صممت لتقوم بالمهمتين الرئيسيتين التاليتين :

أ : المراقبة المستمرة : Controlling monitoring

وتقوم بها منظومة جمع المعلومات (بصورة مستمرة) بواسطة مجموعة من وحدات الاستشعار (مثل جهاز قياس الضغط ودرجة الحرارة) ثم تنقل هذه المعلومات إلى مركز إجراء العمليات Central-processor الذى يحلل هذه المعلومات ويتتبع أى عيوب قد تحدث وهى فى مرحلتها الأولى . ويعمل هذا المركز على مساعدة المهندس لمعرفة الحالة تماماً ويوضح له الإجراء السليم الواجب إتباعه لتلافى أى أعطال قد تحدث بضياع الوقت فى البحث عن الخطأ أو متابعته .

ب : التنبؤ بالصيانة :

إن تدهور حالة الجزء المعين نتيجة البرى أو الانسداد مثلاً سوف يؤدى إلى عدم تأديته العمل المطلوب منه تماماً (مثل زيادة درجات الحرارة أو نقصان الضغط) وعن طريق



تسجيل هذه التغيرات وتتبعها وبمقارنتها بالحد الأدنى الذى يستلزم عنده صيانة أو تغيير الجزء المراد يمكن تحديد بكل دقة متى وأين يجب عمل الصيانة .

وبذلك فإنه يمكن تلاشى ضياع أى وقت فى الكشف على الأجزاء السليمة ، ويمكن تأدية الصيانه حيث يكون الأمر طارئاً ، بذلك فإن المحرك يحتفظ دائماً بحالة قريبة جداً من حالة الأداء القياسى وبأقل مايمكن من الوقت الضائع فى الصيانة .

ـ بعض ملامح التصميم :

تتكون المنظومة الوقائية من ثلاث منظومات فرعية وهى :

أولاً : منظومة الاستشعار Sensor ونقل البيانات Data transmission system .

ثانياً : الحاسب الإلكترونى Computer .

ثالثاً : وسائل الاتصال بالحاسب الإلكترونى .

أولا : منظومة الاستشعار ونقل البيانات

Sensor & data transmission system

١ ـ وحدات الاستشعار الموجودة على المحرك يمكن تقسيمها إلى أربعة أنواع رئيسية وهى

أ ـ وحدات للإشارات شبه الساكنة Quasi-static لقياس الضغوط ودرجات الحرارة .

ب ـ وحدات لإشارات الضغط عالية السرعة ، لقياس ضغوط الاحتراق أو الحقن .

جـ : وحدات تجاور أو (قرب) Proximity - sensors مثل جهاز مراقبة شنابر المكبس .

د – وحدات رقمية Digital-sensors مثل جهاز قياس عزم دوران عمود مرفق المحرك أو جهاز قياس الانسياب للموائع ، او جهاز قياس سرعة المحرك (لفة / دقيقة).

٢ ـ منظومة نقل البيانات يمكن تقسيمها إلى أربعة منظومات فرعية وهى :

أ ـ إشارات شبه الساكنة Quasistatic signals

ب ـ إشارات عالية السرعة High speed signals



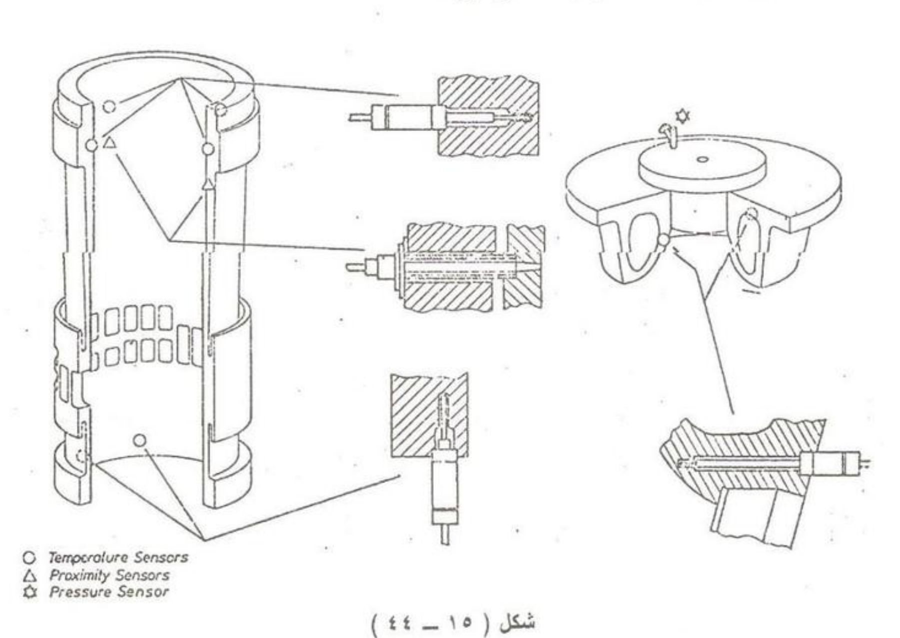
جـ ـ إشارات تجاور (تقارب) Proximity signals

د ـ إشـــــــارات رقمية Digital signals

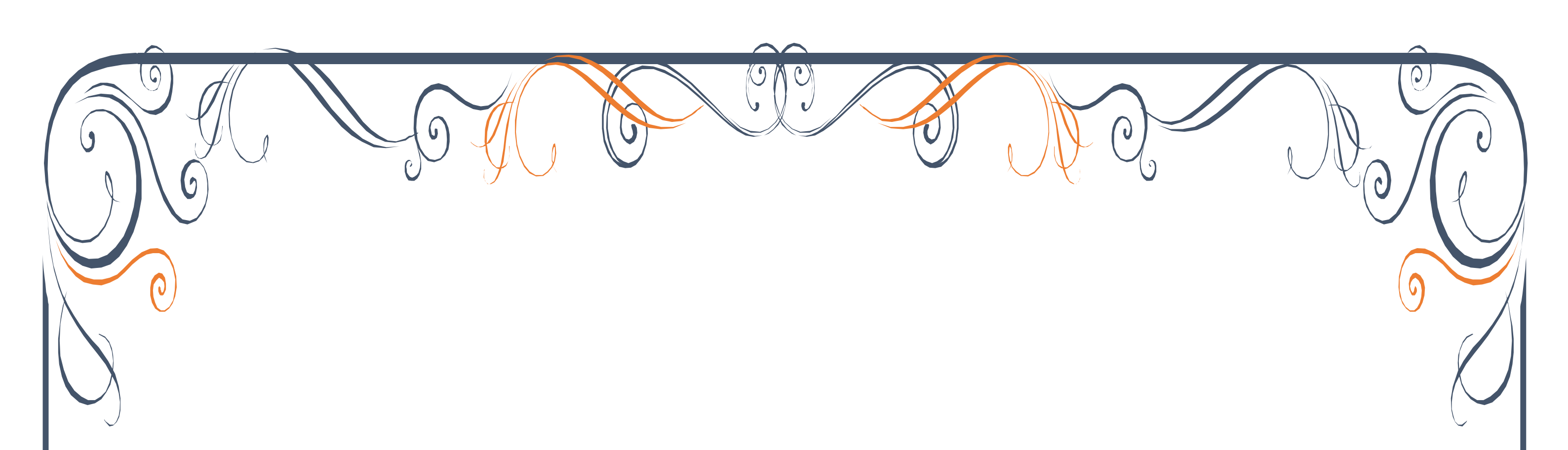
ويمكن توضيحها كالآتى :

أ ـ الإشارات شبه الساكنة :

تعتبر غرفة الاحتراق من الأجزاء الحرجة فى المحرك حيث أن كلاً من رأس الاسطوانة والجلبة والمكبس يتعرض لإجهادات ميكانيكية وحرارية عالية . ولذلك فإن هذه المنـــاطق تراقب بواسطة ازدواجات حرارية فى الجزء العلوى والسفلى مـــن الجلبـــة وكـــذلك رأس الاسطوانه والمكبس . وشكل (١٥ ـ ٤٤) يوضح مجموعة من وحدات الاستشعار فـــى الجلبة ورأس الاسطوانه . وبذلك يمكن اكتشاف أى عيوب مثل تآكل الشنابر ، قفش المكبس أو تدهوره نتيجة انسداد مجموعة كنس الهواء .



شكل (١٥ ـ ٤٤)



وتتصل وحدات الاستشعار بالمنظومة الفرعية التى تحتوى على مكبرات ومضاعفات إرسال ومحولات (قياسية / رقمية) وترسل الإشارات من المنظومة الفرعية خلال مرسل Transmitter إلى الحاسب الإلكترونى . ولاسترجاع البيانات الإضافية فإن مجموعة إضافية من الازدواجات الحرارية ووحدات استشعار الضغط تركب على الشاحن التوربينى ، ومبردات هواء الشحن ودوائر تبريد المياه ، وتتصل وحدات الاستشعار بنفس المنظومات الفرعية .

ب ـ الإشارات عالية السرعة :

التحليل المستمر لضغط الاحتراق مع درجة الحرارة يعطى صورة شاملة لعملية الاحتراق.

وتتصل وحدات الاستشعار بالمنظومة الفرعية (عن طريق شاحن مكبر إذا كانت وحدة الاستشعار من النوع الكهروضغطى) وهذا الأخير ينتقى أكثر النقط أهمية فى منحنى (الضغط / الزمن) ويحسب المتوسط لعدة دورات لإيجاد قاعدة للتغيرات العشوائية .

ويستعمل نظام فرعى آخر مماثل لوحدات الاستشعار لضغط الحقن ، وهذه الوحدات تتابع نظام حقن الوقود وباستخدام بياناتها مع بيانات درجات حرارة غرفة الاحتراق فإن جودة الحقن يمكن استنتاجها ، وهذه الإشارات الناتجة تمر على مرحلة تحضير مثل إشارات ضغط غرفة الاحتراق .

جـ ـ إشارات تجاور (تقارب)

تعتبر حلقات المكبس من أكثر الأجزاء أهمية فى المحرك الديزل ، ولذلك يجب أن تتابع بعناية كبيرة ، حيث أن المتابعة الدقيقة لحلقات المكبس تعطى فكرة عن الحالة العامة للمحرك بالإضافة إلى حالة هذه الحلقات .

وتتكون وحدات الاستشعار المستخدمة فى هذه الحالة من جهاز يقيس المسافة بين الحلقات وجلبة الاسطوانه والإشارة الخارجة تكون على شكل فرق جهد يتناسب عكسياً مع المسافة المقاسة .

وفى حالة كسر إحدى هذه الحلقات فإنه من المهم معرفة ليس فقط فى أى المكابس حدث هذا ، ولكن أيضاً فى أى حلقة داخل هذا المكبس .



د ـ إشارات رقمية :

هذه المنظومة الفرعية تشتمل على وحدات الاستشعار التى تعطى إشارات رقمية . وإن من أهم هذه الوحدات جهاز قياس سرعة المحرك والشاحن التـوربينى ، وقيـاس عـزم المحرك . وهذه المنظومة الفرعية تقرأ القيمة بالتتابع وتنقلهـا مباشـرة إلـى الحاسـب الإلكترونى .

جهاز تشخيص أداء المحرك Analyzer

وظيفة هذا الجهاز هى عملية متابعة حالة الاحتراق داخل اسطوانة المحرك ، حيث يقوم بعمل قياسات يمكن من خلالها تقييم أداء المحرك .

هذه القياسات تظهر على شاشة الجهاز وتتضمن البيانات الآتية كما هو موضح بشـكل (١٥ ـ ٤٥) .

SINGLE: MEMORY ch 2 {ENT : next}

PRESSURE(Kg/cm2)

SINGLE CYCLE

MULTI CYCLE

SET PARAMETER

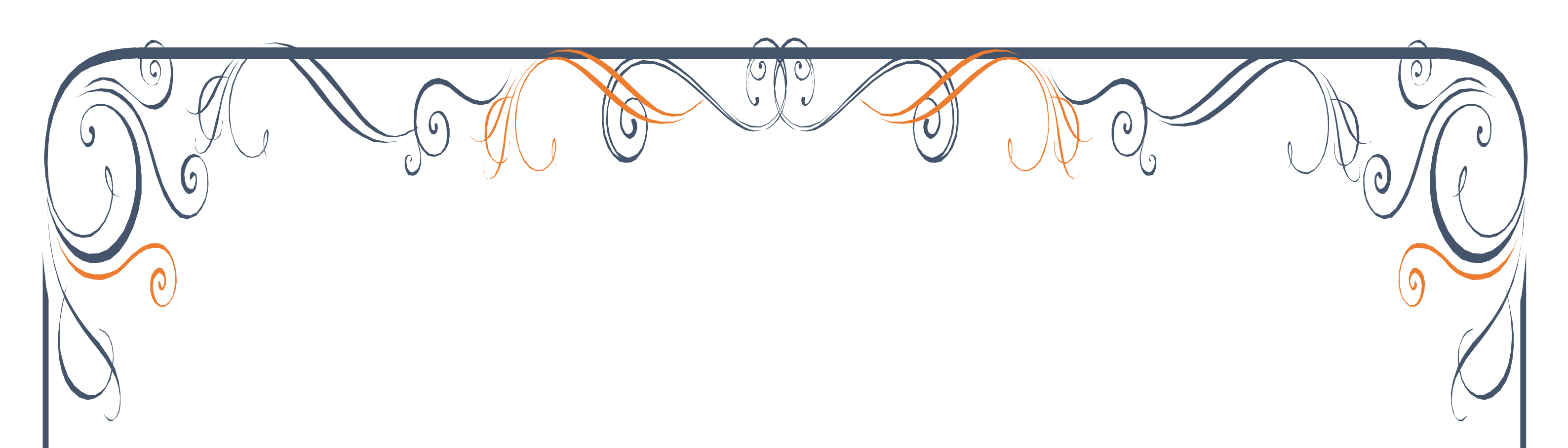
OTHER FUNCTION

CRANK ANGLE

① [ch.1]:MEMORY CHANNEL No.
② 83rpm:RPM
③ Pmax=105(12):Max.Press(105Kg/cm2) AND Crank Angle(12deg after T
④ Pmi=10.5:Indicated mean pressure(1
⑤ IHP=2560:Indicated horse power(256
⑥ θ ig=(3):Crank angle at firing poin (3deg.after TDC)
⑦ 07-31 14:Date of measuring
⑧ GLORY:TITLE
⑨ 2 CYCLE:2CYCLE ENGINE
⑩ cl.No.1:Cylinder No.(1)
⑪ DLY 0:Delay angle(0)
⑫ Bor 900:Cylinder bore(900mm)
⑬ Strk 1900:Stroke(1900mm)
⑭ (N)=1:1 pulse/1 rpm
⑮ R/C:3.00:Crank/Con.rod ratio(3.00)

(NOTE)dp/dθ max **.* (**)= Max.Pressure buit up ratio(**.*) and Crank angle(**) that are printed out.

شكل (١٥ ـ ٤٥)



2 ـ سرعة دوران المحرك.

3 ـ أقصى ضغط احتراق داخل الاسطوانة وزاوية عمود المرفق المناظرة ، كذلك معدل تغير أقصى ضغط احتراق بالنسبة لزاوية عمود المرفق ($Max\ dP/d\theta$) .

4 ـ الضغط المتوسط الفعال P_{mi} .

5 ـ القدرة البيانية المتولدة داخل الاسطوانة حتى يمكن التأكد من توزيع الحمل بالتساوى على اسطوانات المحرك .

6 ـ قياس زاوية حقن الوقود وبذلك يمكن تحديد توقيت الحقن حتى يمكن ضبطه إذا لزم الأمر .

بواسطة الكارت البيانى (P-V diagram) والكارت المفرود (p-θ diagram) يمكن معرفة كفاءة الاحتراق .

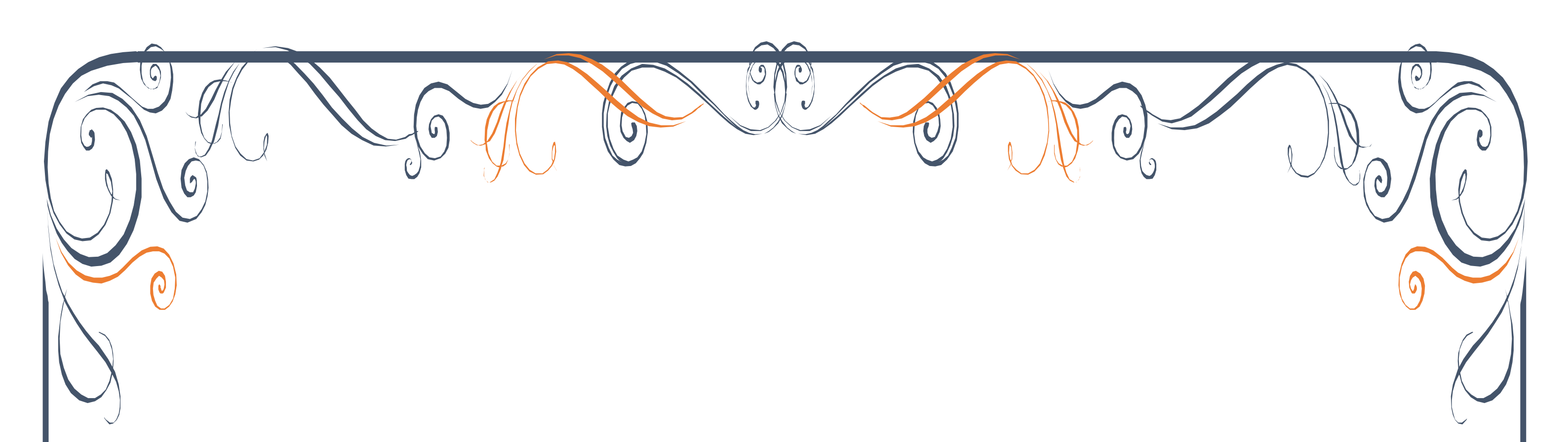
ملحوظـــــــــه :

- يمكن توصيل طابعة بهذا الجهاز للحصول على هذه البيانات مطبوعة .
- هذا الجهاز يمكنه قياس هذه البيانات لدورة اشتعال واحدة أو لأكثر من دورة اشتعال متتالية تصل إلى ٤٠ دورة وفى هذه الحالة تظهر البيانات كقيم متوسطة لتلك الدورات .
- يمكن توصيل هذا الجهاز بكمبيوتر مبرمج حيث يمكن تسجيل البيانات على أقراص مرنة ، ويمكن تحليل هذه البيانات ومقارنتها ببيانات مخزنة بالكمبيوتر تمثل الأداء الأمثل عند نفس ظروف التشغيل حيث يمكن تحديد أى قصور فى أداء المحرك بطريق آلية من خلال الكمبيوتر المبرمج .

يمتاز هذا الجهاز بخاصية تحديد الأعطال الذاتية التى تحدث للجهاز .

ثانيا : الحاسب الإلكترونى Computer

فى السنوات الأخيرة أمكن تطوير وحدات مجهزة بالبرامج مسبقاً Programmed soft ware units والتى تضمن سهولة وكفاءة البرامج المستخدمة فى أجهزة تشخيص حالة المحرك ، و بهذا يمكن تقليل التكلفة عن طريق استخدام أقل حجم ممكن من الذاكرة . ويتكون جزء البرامج Software من الحاسب الإلكترونى من ثلاثة أجزاء رئيسية :



١ ــ الحصول على البيانات وتحليلها Date acquisition and analysis
٢ ــ تتبع الصيانة Maintenance prediction
٣ ــ اختبار الذات Self checking software

١ ــ الحصول على البيانات وتحليلها :

وهى تمثل الجزء الخاص بالتشغيل ومهمته هى تتبع أى خطأ فى مرحلة مبكرة لمنع أى انهيار أو تآكل زائد عن الحد . وهذا يستلزم أن يكون تشخيص حالة المحرك مستمر ، وعليه فإن الحاسب الإلكترونى سوف يحدد مكان العطب فى مرحلة مبكرة ويبين العلاج .

ويعتبر تحليل الإشارات الواردة من حيز غرفة الاحتراق على درجة من الأهمية حيث أن ظروف التشغيل الغير عادية لأى جزء مهم من الماكينة تنعكس على شكل تغير فى درجة الحرارة والضغط فى حيز غرفة الاحتراق .

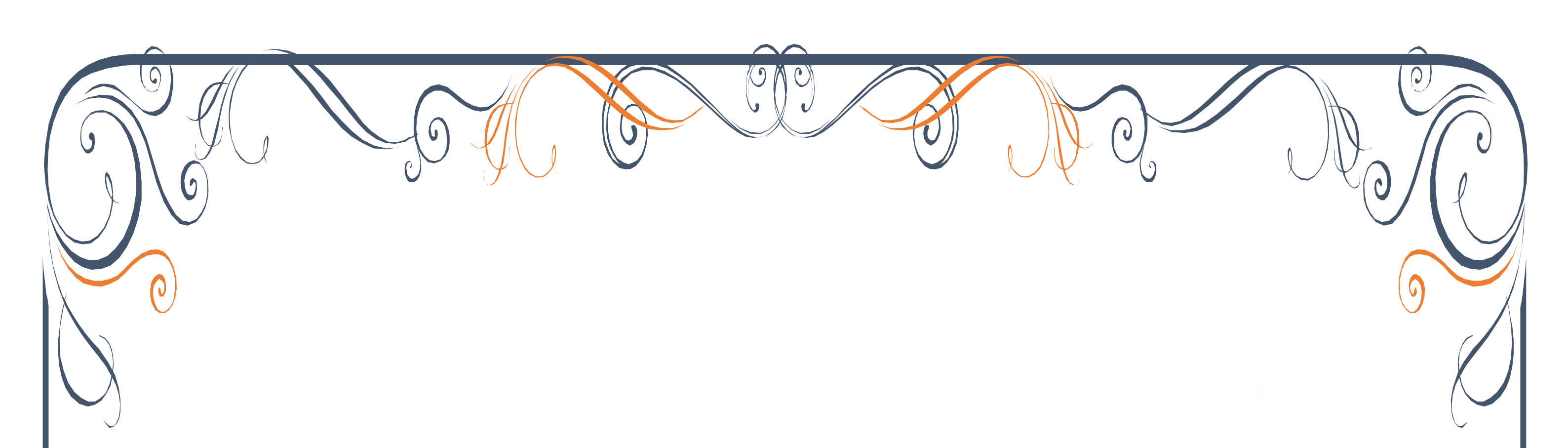
وهذا التغير سوف لا يساعد على تحديد سبب الخطأ إلا إذا عرف مسار هذه المتغيرات مع الزمن ، فنجد مثلاً أن معدل تغير درجة الحرارة أو تردد هذا التغير يستخدم لتحديد السبب الفعلى .

وعلى سبيل المثال فإنه يمكن استخدام عدة ازدواجات حرارية موزعة على جلبة ورأس الاسطوانه لتتبع عدة عيوب مثل الاجهادات الحرارية العالية ، وتآكل حلقات المكبس ، قفش المكبس ، عيب بالرشاش ... الخ .

وعليه فإن مزايا التحليل الآلى للبيانات وتشخيص العطب تعتبر عديدة وخاصة بالنسبة للسفن التى تعمل بدون المراقبة البشرية لغرف الماكينات ، فإنه بالإنذار سوف يتوجه مهندس النوبة فوراً إلى غرف الماكينات مزوداً بجميع البيانات لمعالجة العطب بدون أى تأخير .

٢ ــ تتبع الصيانة

من المعروف أن التغير البطئ فى بعض القراءات (مثل ارتفاع درجة الحرارة أو انخفاض الضغط) يعتبر دليل لبعض العيوب التى تحتاج لزمن طويل مثل (التآكل أو الانسداد) .



وتحديد الفترة الزمنية اللازمة حتى يصل التآكل (مثلاً) إلى الحد المسموح به يمكن تقديره استقرائياً Extrapolating بعمل رسم بيانى لتغير هذه القراءات مع الزمن . وتعتبر هذه المهمة صعبة بدون اللجوء للحاسب الإلكترونى وذلك لسببين ، وهما :

- أننا لكى نحصل على معلومات دقيقة يجب أن نحصل على عدد كبير من القيم التى تمثل منحنى تغير الضغط ودرجة الحرارة مع الزمن وذلك عن فترات منتظمة ، فإذا علمنا أنه يوجد عدد من العناصر الهامة التى يجب تتبعها فإننا نرى كمية ضخمة من العمل يجب أن يؤدى فى هذا الصدد .
- أن تغير الضغط والحرارة ينتج جزئياً من تأثير بعض الأحوال المحيطة بالمحرك كالتحميل مثلاً .. ولذلك فإن البيانات المتحصلة يجب أن يعاد تقييمها على أساس أحوال معينة ثابتة مما يعنى مهمة أخرى شاقة تضاف إلى المهام السابقة .

ولذلك فإن نظام تشخيص المحرك الديزل يقوم بأداء جميع هذه المهام آلياً وعن طريق تتبع تاريخ الأجزاء يمكن تحديد الفترة القصوى لصلاحية الجزء قبل تغييره أو الصيانة الشاملة كما يمكن تحديد جدول يبين أولوية التغيير للأجزاء المختلفة إذا كان الوقت المخصص للصيانة لا يسمح بالإصلاحات الشاملة .

٣ ـ اختبار الذات Self checking software

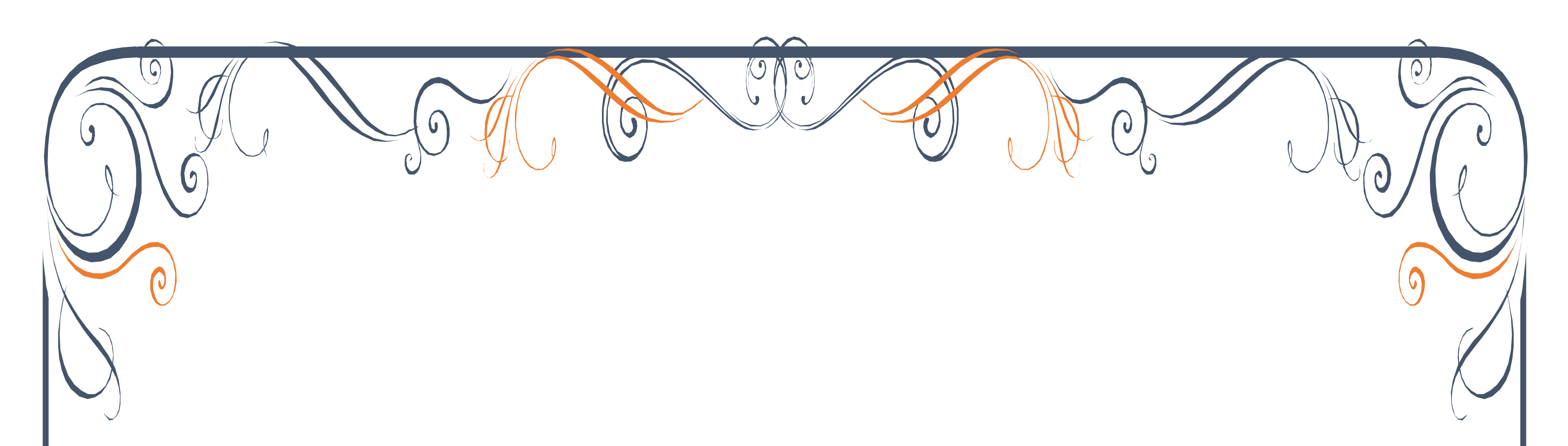
وقد روعى فى صيانة نظم التشغيل المشار إليها سابقاً أن تكون سهلة على حد كبير وذلك مراعاة لعدم توفر الاختصاصين الإلكترونيين على السفن .

ويقوم الجزء الخاص بالحصول على تحليل البيانات بتتبع أى خطأ يحدث فى أى جزء ويعلن عنه لتجنب متابعة الخطأ بمعرفة الطاقم .

ويوجد جهاز اكتشاف الأخطاء ينذر بوجود العيب ويبين الجزء المطلوب تغييره ، ويمكن للأشخاص الغير متخصصين بتغيير هذا الجزء بسهولة دون الحاجة إلى متخصص .

ثالثا : وسائل الاتصال بالحاسب الإلكترونى

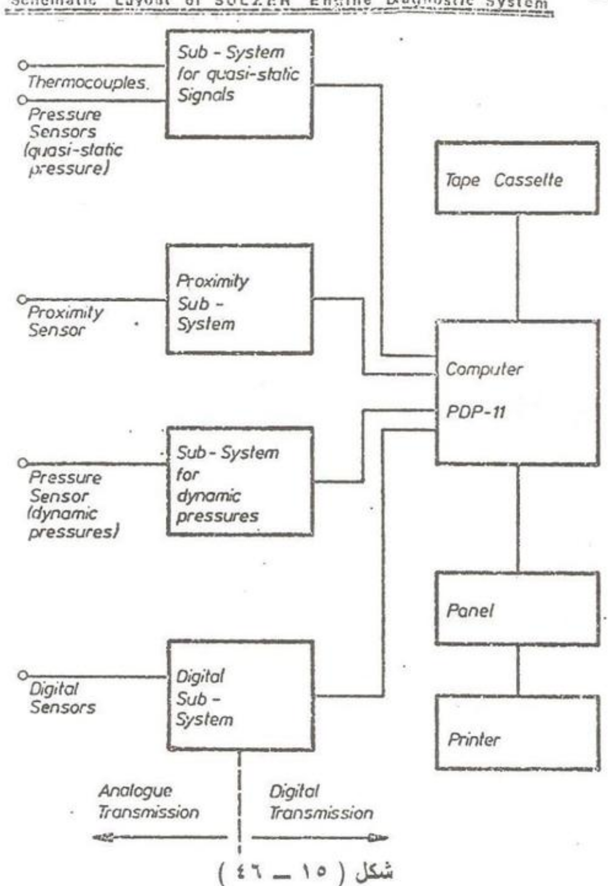
كل الرسائل المرسلة من الحاسب الإلكترونى تطبع بواسطة عبارات واضحة بدون رموز بحيث يسهل قراءتها بواسطة أى شخص . وأى رسالة إنذار فإنها تتكون من جزئين وصف للخطأ ومكانه وتوضيح للإجراء المناسب اللازم اتخاذه ، ويصاحب الإنذار إضاءة لمبات



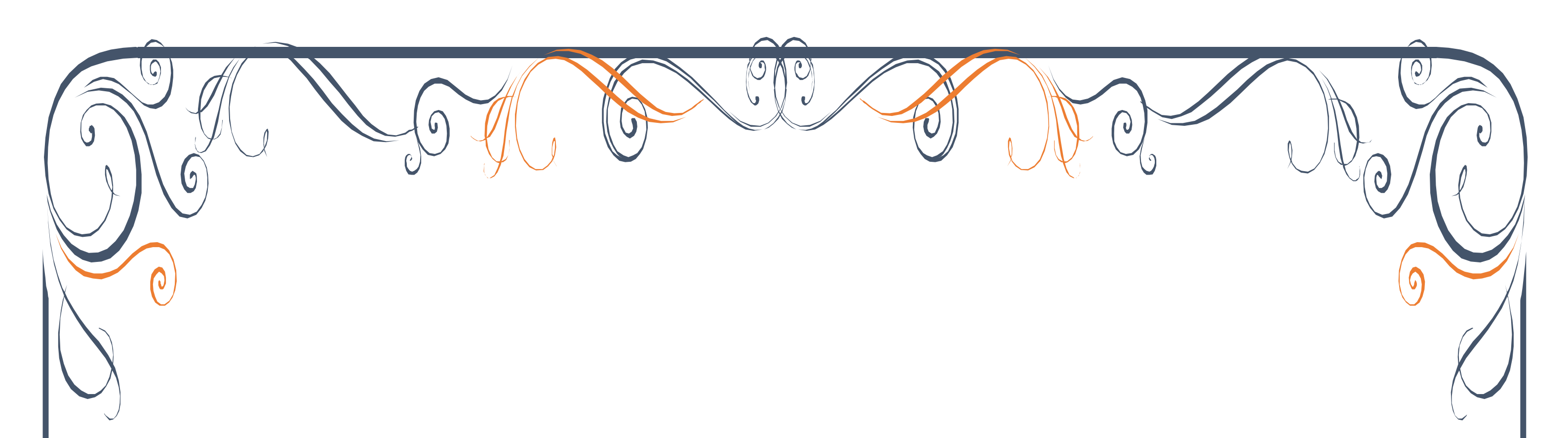
معينة لجذب الإنتباه . ويمكن تسجيل قراءات من البيانات المتحصلة على فترات منتظمة وذلك بواسطة لوحة خاصة .

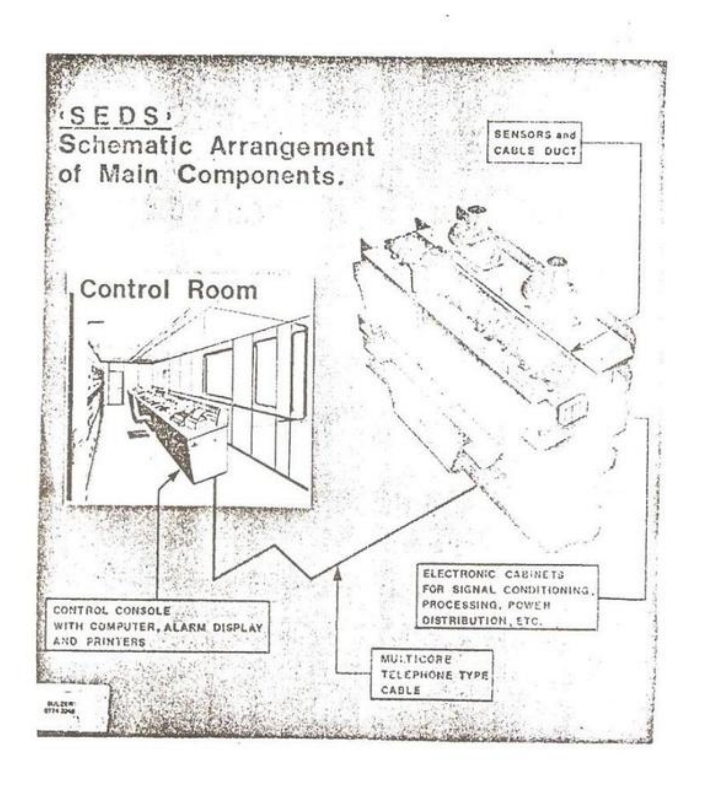
وشكل (١٥ ــ ٤٦) يبين نموذج تخطيطى لمنظومة تشخيص محرك ديزل " سولزر " وشكل (١٥ ــ ٤٧٦) يبين المكونات الرئيسية لها .

وأخيراً يمكن القول بأن وجود مثل هذه المنظومة على السفينة سوف يجعلها صالحة للعمل طوال الوقت ، ولا تتوقف بأسباب الصيانة الروتينية أو الإصلاح إلا فى فترات محدودة للغاية ، مما سوف يحقق اكبر عائد .



شكل (١٥ ــ ٤٦)

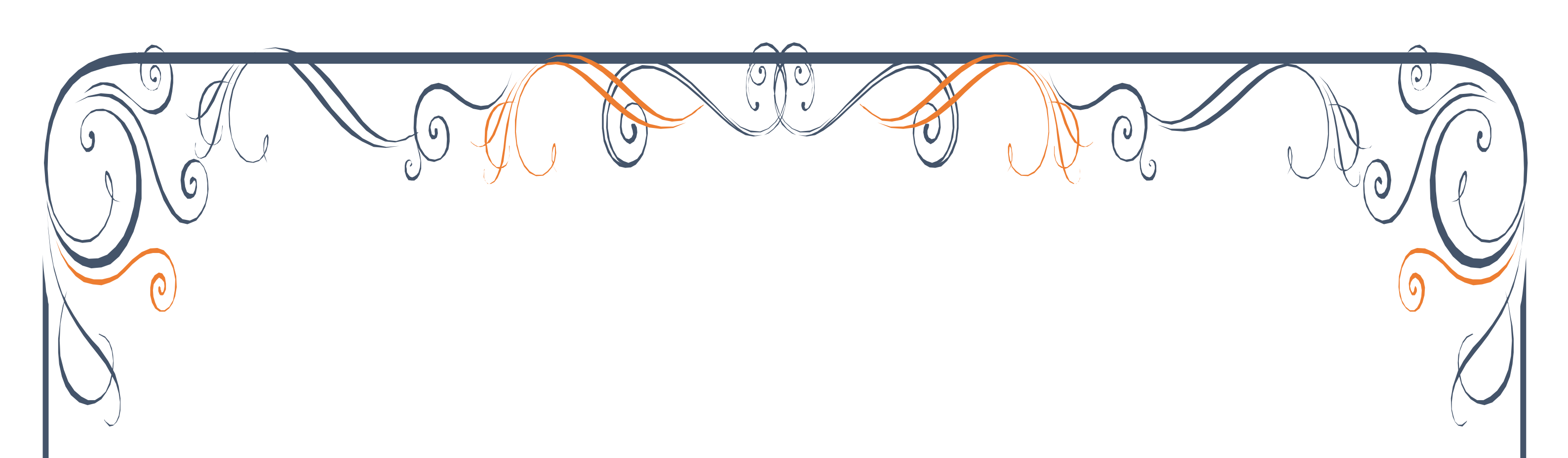




'SEDS'
Schematic Arrangement of Main Components.
SENSORS and CABLE DUCT
Control Room
ELECTRONIC CABINETS FOR SIGNAL CONDITIONING, PROCESSING, POWER DISTRIBUTION, ETC.
CONTROL CONSOLE WITH COMPUTER, ALARM DISPLAY AND PRINTERS
MULTICORE TELEPHONE TYPE CABLE

شكل (١٥ ــ ٤٧)





أســـــــئلة

١. أذكر أهم مزايا وعيوب استخدام التحكم الآلى فى مجال الهندسة البحرية .

٢. اشرح مستعيناً بالرسم المخطط العام لأنظمة التحكم المغلقة مبيناً الوظـائف الأساسـية لعناصر منظومة التحكم .

٣. أشرح مع الرسم أنظمة التحكم الغير خطية التالية مع ذكر بعض التطبيقات العملية :

أ ــ نظام التحكم بخطوتين .

ب ــ نظام التحكم بعدة خطوات .

جـ ــ نظام التحكم بسرعة واحدة .

د ــ نظام التحكم بعدة سرعات .

٤. أ ــ صف وارسم منظم ميكانيكى ووضح طريقة عمله .

ب ــ بسط عمله فى منظومة تحكم مغلقة صندوقية .

جـ ــ أذكر عيوب المنظمات الميكانيكية وكيف أمكن التغلب عليها .

٥. ما هى مواصفات الأداء الزمنى التى يمكن بواسطتها الحكم على جــودة أداء منظومــة التحكم . أرسم شكلاً يبين وضع هذه المواصفات على استجابة المنظومة العامة .

٦. ما هى مميزات الوحدات البللورية لقياس الضغط التى تحبذ استخدامها عملياً ــ وما هى فكرة عملها ؟

٧. بين كيف يمكن استخدام أنبوبة بوردون فى عمليات البيانِ المحلى والتحكم والبيان عن بعد مستعيناً بالرسم .

٨. أشرح فكرة عمل الازدواج الحرارى لقياس درجات الحرارة مستعيناً بالرسم .

٩. وضح الفرق بين استخدام كل من ترمومتر المقاومة المعدنية والمقاوم الحرارى فــى قياسات درجات الحرارة .

١٠. وضح فكرة عمل جهاز قياس اللزوجة مستعيناً بالرسم .

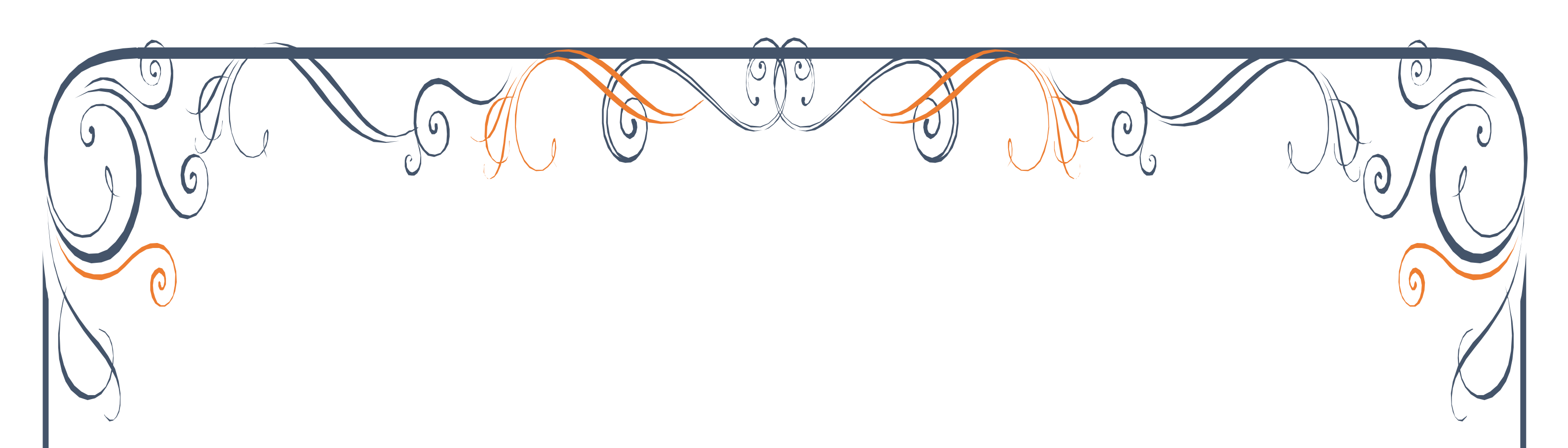
١١. أرسم شكلاً يبين المخطط العام لنظام تسجيل البيانات والإنذار ووظيفة كل وحدة فيه .

١٢. بين كيف يمكن تطبيق طرق التحكم الخطية للتحكم فى المتغيرات التالية :

أ ــ درجة حرارة مياة التبريد .

ب ــ التحكم فى سرعة المحركات البحرية .

جـ ــ التحكم فى مستوى صهريج الوقود .



الباب السادس عشر
بعض التنظيمات الإدارية

Some administrative regulations

١٦ ـ ١ : المبادئ الأساسية للنوبة على السفينة

Main principles of watch on ships

يعتبر كبير مهندسى السفينة ملزماً ـ بالتشاور مع القبطان ـ بالتحقق من أن ترتيب وتنظيم النوبة كافياً للحفاظ على نوبة آمنة فى جميع الأوقات ويجب أخذ المعايير التالية عند تقرير تشكيل النوبة :

- طراز السفينة وتجهيزاتها .
- طراز وحالة المحركات والمعدات .
- الظروف المحيطة مثل الحالة الجوية ، خط السير (مياة ضحلة ، أنهار .. الخ) حالات الطوارئ أو حصر العطب .
- المحافظة على مستوى التشغيل الكفء .
- مراعاة سلامة الأرواح والسفينة والشحنة والميناء .
- مراعاة قواعد المنظمات الدولية والوطنية .
- مؤهلات وخبرة الأفراد الذين يكونون جزءاً من النوبة .

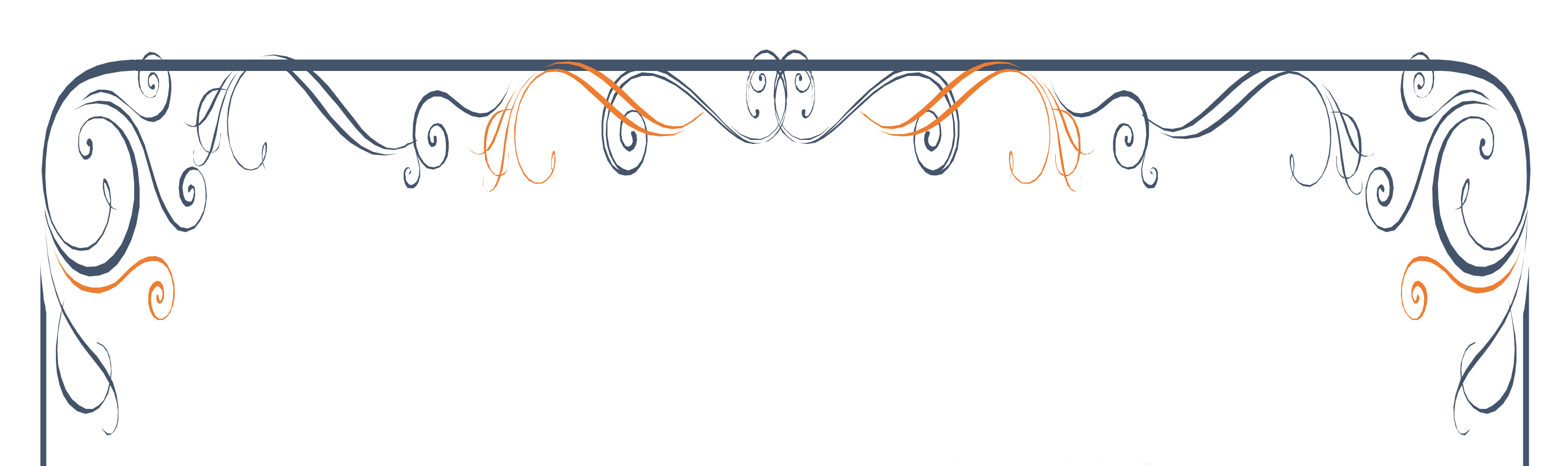
ويعتبر المهندس المسئول عن النوبة هو ممثل كبير مهندسى السفينة ، ومسئوليته الأولى فى جميع الأوقات هو التشغيل الآمن والكفء والمحافظة على الآلات والمعدات .

ويجب ألا يكلف المهندس المسئول عن النوبة بأية أعمال أو واجبات قد تتداخل مع عمله الإشرافى بالنسبة لنظام الدفع الرئيسى أو التجهيزات المساعدة له .

ويجب أن يتأكد من بقاء نظام الدفع الرئيسى والتجهيزات المساعدة له تحت إشرافه الدائم ولحين الانتهاء من نوبته تماماً .

يجب على المهندس المكلف بالنوبة أن يكون قادراً فى جميع الأوقات على تشغيل تجهيزات الدفع تجاوباً مع الحاجة للتغير فى الاتجاه أو السرعة .

يجب على كبير مهندسى السفينة التأكد من أن المهندس المكلف بالنوبة قد أخطر



بجميع أعمال الصيانة الوقائية وحصر العطب وعمليات الإصلاح الواجب القيام بها خلال النوبة . ويجب أن يكون المهندس المكلف بالنوبة مسئولاً عن تجهيز وضبط جميع المحركات والمعدات التى يجب تشغيلها تحت مسئوليته ، كما يجب تسجيل جميع الأعمال التى تم القيام بها .

١٦ ـ ٢ النوبة فى الميناء Watch in the port

١٦ ـ ٢ ـ ١ : ترتيبات النوبة Watch arrangements

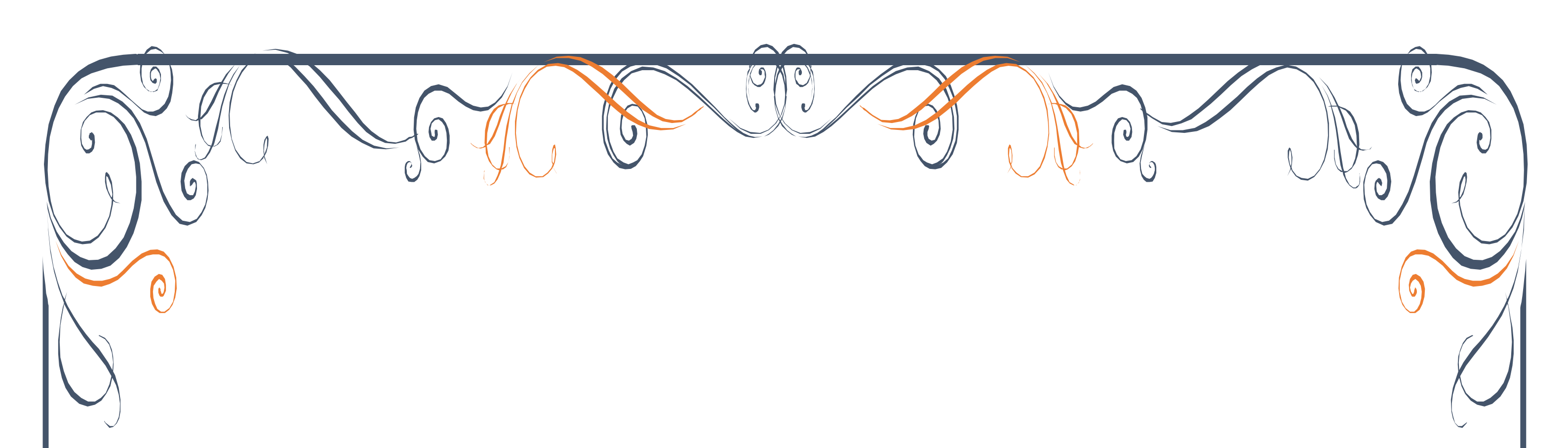
يجب أن يكون هناك مهندس مسئول عن النوبة بصفة دائمة على جميع السفن التى تبلغ قوة الدفع بها ٣٠٠٠ كيلووات وأكثر . أما بالنسبة للسفن التى تتراوح قوة الدفع بها بين ١٥٠٠ و ٣٠٠٠ كيلووات ، فيجوز أن يكون هناك مهندس مسئول عن النوبة شريطة أن يكون هناك ضابط سطح مسئولاً عن السفينة وأن لا تكون السفينة محملة ببضائع صب يمكن أن تشكل خطراً . أما بالنسبة للسفن التى تقل قوة الدفع بها عن ١٥٠٠ كيلووات ، لا تكون هناك حاجة لأن يكون هناك مهندس مسئول عن النوبة شريطة أن لا تكون السفينة محملة ببضائع صب قد تشكل خطراً .

١٦ ـ ٢ ـ ٢ : تسليم واستلام أعمال النوبة : Handing over the watch

يجب على المهندس المسئول عن النوبة أن لا يقوم بتسليم النوبة إلى المهندس المسئول عن النوبة التالية إذا ما كان لديه أى سبب يحمله على الاعتقاد بأن هذا المهندس غير قادر بشكل واضح على القيام بواجباته الفعلية ، وفى هذه الحالة عليه أن يخطر كبير المهندسين بذلك .

قبل استلام أعمال النوبة ، يجب على المهندس المسئول عن النوبة أن يخطر المهندس الذى يليه بما يأتى :

- الأوامر المتعلقة بتشغيل السفينة ، ومهام صيانة وإصلاح الآلات والمعدات .
- جميع الأعمال الجارى القيام بها على ظهر السفينة ، والأفراد القائمين بهذه الأعمال والأخطار المحتملة .



- مستوى وحالة المياه فى السراتين وصهاريج الصابورة وصـــهاريج الصـــرف والمتطلبات الخاصة بالاستخدام أو التخلص من محتوياتها .
- حالة ودرجة استعداد تجهيزات إطفاء الحريق المتحركة والثابتة وأنظمة اكتشاف الحريق .
- أى تعليمات خاصة بالميناء فيما يتعلق بحماية البيئة مـــن التلـــوث ، ودرجـــة استعداد السفينة وخاصة فى حالات توقع سوء الأحوال الجوية .

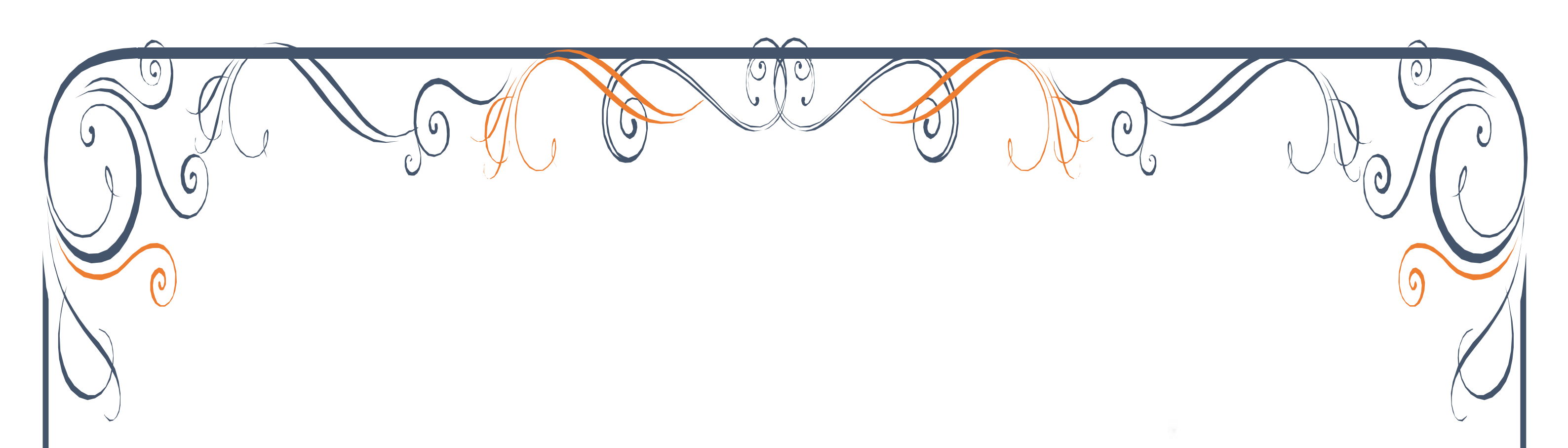
يجب على المهندس الذى سيقوم باستلام النوبة أن يتحقق مما يلى قبل استلامه النوبه:

- عليه أن يكون مستعدا لتجهيز السفينة وآلاتهـــا ـ قـــدر الإمكـــان ـ لحـــالات الاستعداد أو الطوارئ حسب الطلب .
- يكون على دراية بجميع التعليمات المتعلقة باحتياطات السلامة والحمايـــة مـــن الحريق وبوسائل الاتصال مع خدمة مكافحة الحريق على الشاطئ .
- يكون على دراية بمتطلبات الميناء بالنسبة لمنع التلـــوث ، والتشـــغيل الســـليم للتجهيزات الموجودة على سطح السفينة لمواجهة هذه المتطلبات .
- أن يكون على علم باحتياجات ضابط الشحنة فيما يتعلق بالتجهيزات المطلوبة فى تحميل وتفريغ الشحنة .

١٦ ـ ٢ ـ ٣ : القيام بأعمال النوبة : Watch keeping

يجب على المهندس المسئول عن النوبة أن يقوم بالاتى :

- الإطلاع على تعليمات مهندس أول والاهتمام بتنفيذها .
- القيام بجولات تفتيشية متتالية لتحديد احتمال العمل الردئ أو العطل للتجهيزات ، واتخاذ تدابير الإصلاح الفورى .
- التأكد من اتخاذ جميع الاحتياطات لمنع الحوادث أو الأعطال .
- القيام بأعمال الصيانة المطلوبة منه والإشراف عليها .
- اتخاذ الاحتياطات اللازمة لوقاية البيئة من التلوث الذى قد تسببه السفينة والتأكد من مراعاة قواعد التلوث السارية .



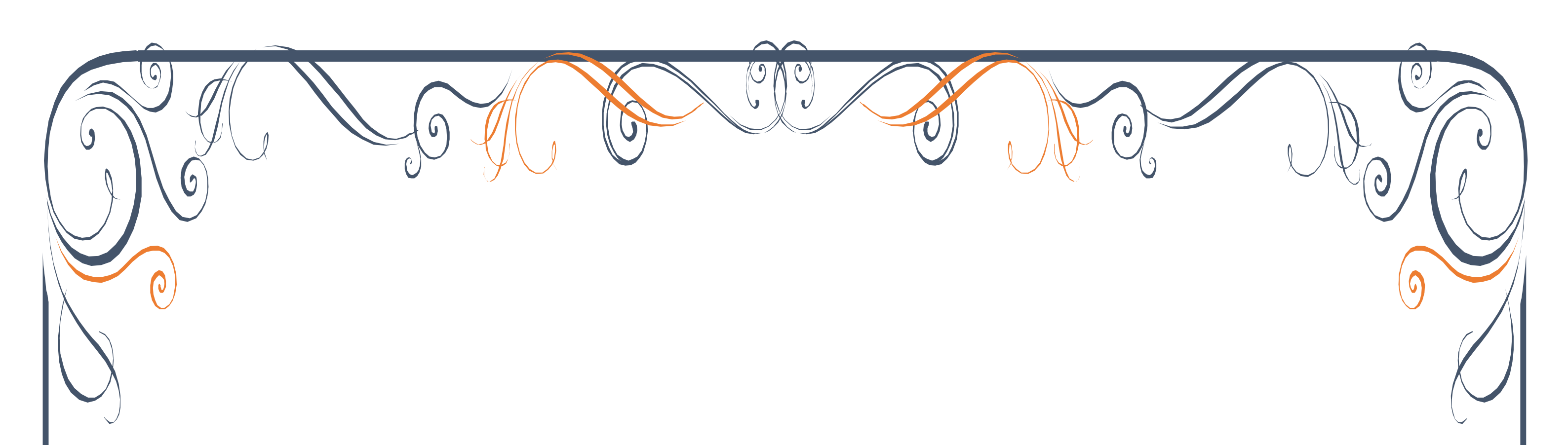
- المرور بالسفينة لمعرفة حالة السرتينة وصهاريج الصابورة ونظم التحكم المتعلقة باتزانها .
- تسجيل جميع الحوادث الهامة التى قد تؤثر على السفينة أو آلاتها .

١٦ ـ ٣ النوبة أثناء الإبحار Sea going watch

١٦ ـ ٣ ـ ١ : عام : General

يعتبر المهندس المسئول عن النوبة هو ممثل كبير مهندسى السفينة ومسئوليته الأولى فى جميع الأوقات هى التشغيل الآمن والكفء والمحافظة على الآلات .

- يجب أن يتأكد فى جميع الأوقات من أن أوامر الممشى فيما يتعلق بتغيير السرعة أو الاتجاه يتم تنفيذها فوراً .
- يجب عليه القيام بالإشراف الدائم لمحطة الدفع الرئيسية والأنظمة المساعدة طوال مدة نوبته ولحين استبداله بطريقة سليمة .
- يجب عليه القيام بالدوريات المناسبة لحيز الماكينات ودوائر التوجيه بغرض ملاحظة سلامة أدائها ، والإخطار عن أى آلة تعمل بطريقة غير سليمة .
- يجب عليه القيام بمباشرة روتينات الصيانة المطلوبة أو أى أعمال ضرورية أخرى .
- يجب عليه أن يكون على علم بالمخاطر المحتمل وقوعها فى غرف الآلات والتى قد تسبب إصابات الأفراد ، كما يجب أن يكون قادراً على مباشرة الإسعافات الأولية .
- يجب عليه مباشرة باقى أفراد النوبة وتنبيههم بأى ظروف غير عادية والأخطار التى قد تؤثر بطريقة سيئة على الآلات أو لغرض سلامة الأرواح أو السفينة من الخطر .
- يجب أن يتأكد من أن جميع أعضاء النوبة على دراية بمكان وكيفية استخدام معدات مكافحة الحريق وحصر العطب ، واحتياطات الأمن التى يجب ملاحظتها .
- يجب عليه أن يستمر فى القيام بمسئوليته بالرغم من تواجد كبير مهندسى

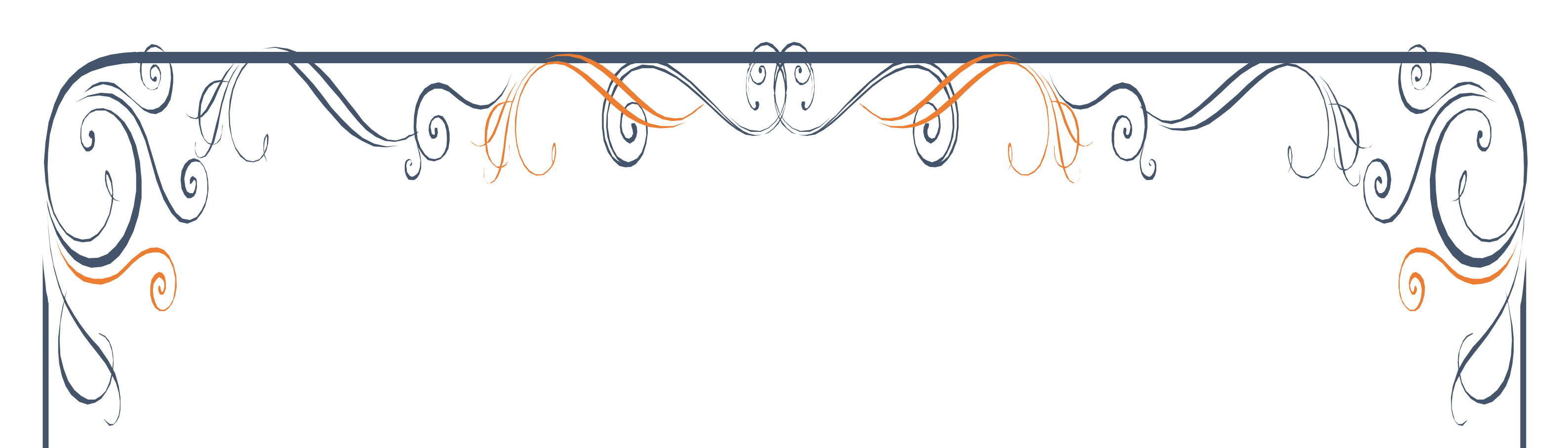


السفينة فى غرفة الماكينات ، وذلك حتى يخطره كبير المهندسين بشكل محدد بأنه قد تولى عنه هذه المسئولية بنفسه ويفهم ذلك بوضوح .

١٦ ــ ٣ ــ ٢ : تسليم واستلام أعمال النوبة : Handing-over of the watch

يجب على المهندس المسئول عن النوبة أن لا يقوم بتسليم النوبة إلى المهندس الذى سيحل محله إذا كان لديه سبب يحمله على الاعتقاد بأن هذا الشخص غير قادر وبشكل واضح على القيام بواجباته بفاعلية، وفى هذه الحالة عليه أن يخطر كبير المهندسين بذلك .

- يجب على المهندس الذى سيقوم باستلام أعمال النوبة أن يقتنع شخصياً بأن أفراد نوبته من الواضح أنهم قادرين تماماً على القيام بواجباتهم بفاعلية .
- يجب على المهندس الذى سيقوم بأعمال النوبة الجديدة أن لا يتسلم النوبة لحين إتمامه لفحص سجل أحوال الماكينة Log-book والتأكد من أنه مطابق لملاحظاته الشخصية .
- قبل استلام أعمال النوبة يجب على المهندس الذى سيقوم بأعمال النوبة الجديدة أن يتأكد شخصياً مما يلى على الأقل :
  - الأوامر المستديمة والتعليمات الخاصة لكبير المهندسين .
  - جميع الأعمال التى تتم على ظهر السفينة ، والأفراد القائمين بها .
  - مستوى المياة والمخلفات فى السراتين ، وصهاريج الصابورة والمتطلبات الخاصة لاستخدام أو التخلص من محتوياتها .
  - حالة ومستوى الوقود فى الصهاريج الاحتياطية والترسيب والاستهلاك اليومى .
  - حالة وأسلوب تشغيل الأنظمة الرئيسية والمساعدة المختلفة .
  - حالة تجهيزات جهاز المراقبة والتحكم والتجهيزات التى يتم تشغيلها يدوياً .
  - حالة وأسلوب تشغيل ضوابط التحكم الآلي .
  - الأحوال غير المواتية المحتملة والتى قد تنجم عن الطقس الردئ أو المياة المحدودة أو الضحلة .
  - أساليب التشغيل الخاصة والتى يمليها حدوث أى عطب فى الآلات أو المعدات .
  - توافر أجهزة ومعدات مكافحة الحريق .



- ويجب على المهندس المسئول عن النوبة التأكد قبل تسليم النوبة من تسجيل جميع الحوادث المتعلقة بالآلات الرئيسية والمساعدة والتى حدثت أثناء النوبة .

١٦ ـ ٣ ـ ٣ القيام بأعمال النوبة Watch- keeping

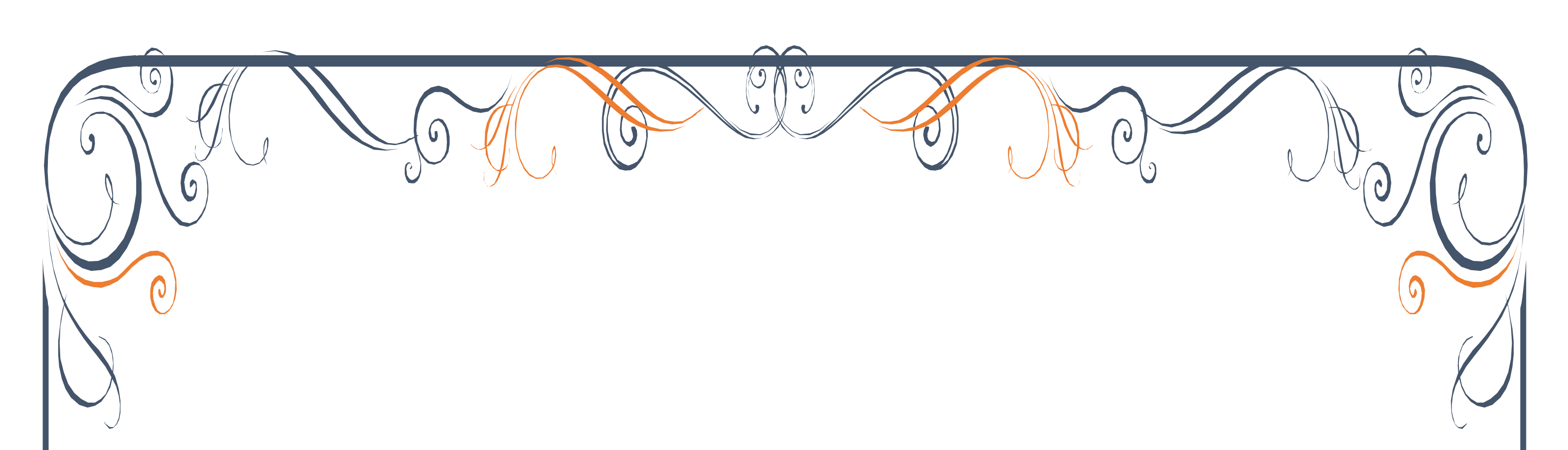
- يجب على المهندس المسئول عن النوبة أن يقوم بالتفتيش الدورى على الآلات والمعدات ، ويجب أن يحقق هذا التفتيش الآتى :
- أن الآلات الرئيسية والمساعدة وأنظمة التحكم ولوحات البيان تعمل بطريقة مرضية .
- أن نظام التوجيه والمعدات المرتبطة به تعمل بطريقة مرضية .
- الاحتفاظ بالمستوى المناسب للوقود والزيوت والمياه العذبة .
- فتح مصافى حيز الكسح دورياً وملاحظة أى زيوت تمر بها .
- أن عادم المحركات يشير على أن طبيعة الاحتراق جيدة .
- نظافة السنتينة وعدم وجود بقايا وقود أو زيوت .
- أن جميع المنظومات بحالة جيدة ولا يوجد بها تسريب .
- يجب عليه القيام بتسجيل جميع القراءات (درجات الحرارة ـ الضغوط ـ عدد اللفات .. الخ) فى سجل أحوال الماكينة كل ساعة مع توضيح أى ملاحظات .

١٦ ـ ٣ ـ ٤ : الصيانة أو الإصلاح : Maintenance and repair

يجب على المهندس المسئول عن النوبة أن يتعاون مع المهندس المسئول عن أعمال الصيانة أو الإصلاح أو حصر العطب ، وذلك نضبط باقى المعدات للعمل بطريقة مناسبة وآمنة خلال فترة الصيانة أو الإصلاح . هذا مع ضرورة تسجيل المعدات التى بها الإصلاح ، والأفراد القائمين بالإصلاح وإجراءات التأمين المتخذة . كما يمكن اختبار الآلات والمعدات التى تم إصلاحها وإعادتها للعمل عند اللزوم .

١٦ ـ ٣ ـ ٥ : إخطار غرفة القيادة : Notifying the bridge

يجب على المهندس المسئول عن النوبة إخطار غرفة القيادة فوراً فى حالة الحريق أو حدوث أية مشاكل قد تؤدى إلى خفض سرعة السفينة ، أو توقف نظام الدفع ، أو أى تغير



فى توليد القوى الكهربية أو أى تهديد مماثل للسلامة . ويجب أن يتم هذا الإخطار ــ عندما يكون ذلك ممكناً ــ قبل حدوث التغيرات حتى يمكن توفير أقصى وقت ممكن لغرفة القيادة لاتخاذ أى إجراء ممكن لتفادى كارثة بحرية محتملة .

١٦ ــ ٣ ــ ٦ : إخطار كبير المهندسين : Notifying the chief engineer

يجب على المهندس المسئول عن النوبة إخطار كبير المهندسين دون أى تأخير فى الحالات التالية :

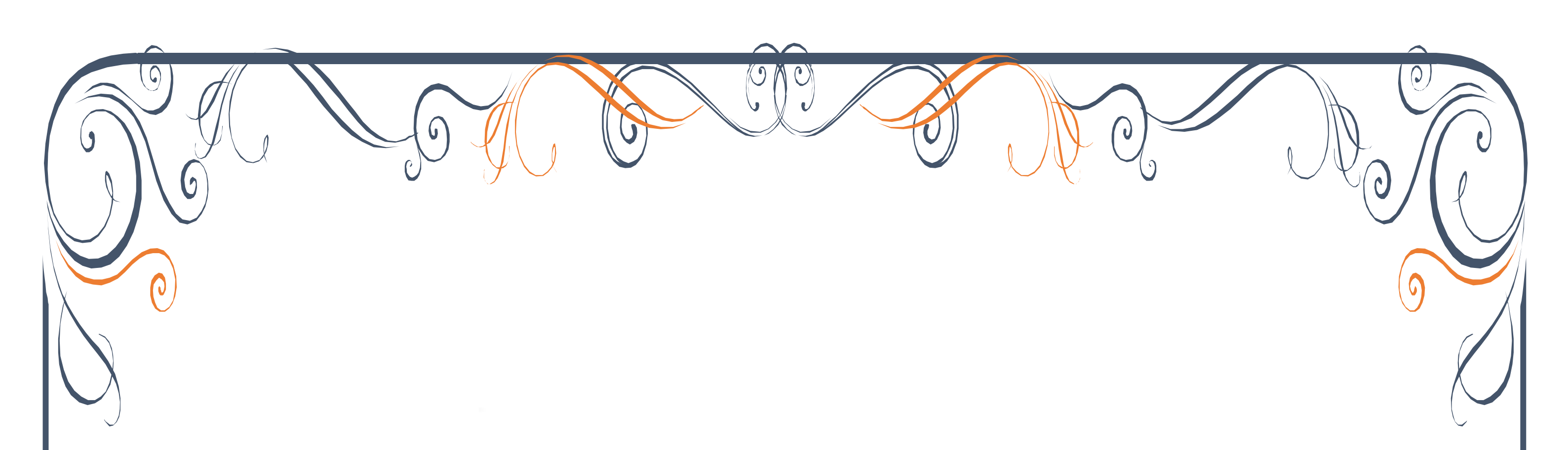
- عند حدوث عطب أو قصور فى تشغيل المحركات قد يؤدى من وجهة نظره إلى تهديد التشغيل الآمن للسفينة .
- عند حدوث قصور فى التشغيل يرى من وجهة نظره ضرورة تعديله لرفع الأداء أو الكفاءة .
- فى حالة الطوارئ أو فى المواقف التى يكون فيها شك بالنسبة للقرارات أو الإجراءات التى يجب أن تتخذ .
- بغض النظر عن ضرورة إخطار كبير المهندسين فى الظروف السابقة ، يجب على المهندس المسئول عن النوبة بالإضافة على ذلك أنه لا يتردد فى اتخاذ إجراء فورى لسلامة السفينة وآلاتها وطاقمها عندما تقتضى الظروف ذلك .

١٦ ـ ٤ واجبات ومسئوليات كبير مهندسى السفينة

Administrative duties of chief engineer

كبير المهندسين بالسفينة هو أعلى سلطة هندسية يرجع إليها لضمان سلامة التشغيل وبأعلى كفاءة ، ويمكن تحديد واجباته ومسئولياته الرئيسية فى الآتى :

- هو المسئول عن تأمين التشغيل وسلامة المحركات والمعدات والآلات والأجهزة واتخاذ ما يراه ضرورياً من الاحتياطات والإجراءات لضمان سلامة الأفراد وكفاءة التشغيل .
- هو المسئول عن إعداد وتجهيز ما يتبعه من جميع الوجوه لتنفيذ تحركات



السفينة فى مواعيدها ، والقيام بروتينات الصيانة الدورية وإعطاء التوجيهات والتعليمات الفنية واجبة التنفيذ والتى يراها ضرورية لصالح السفينة .

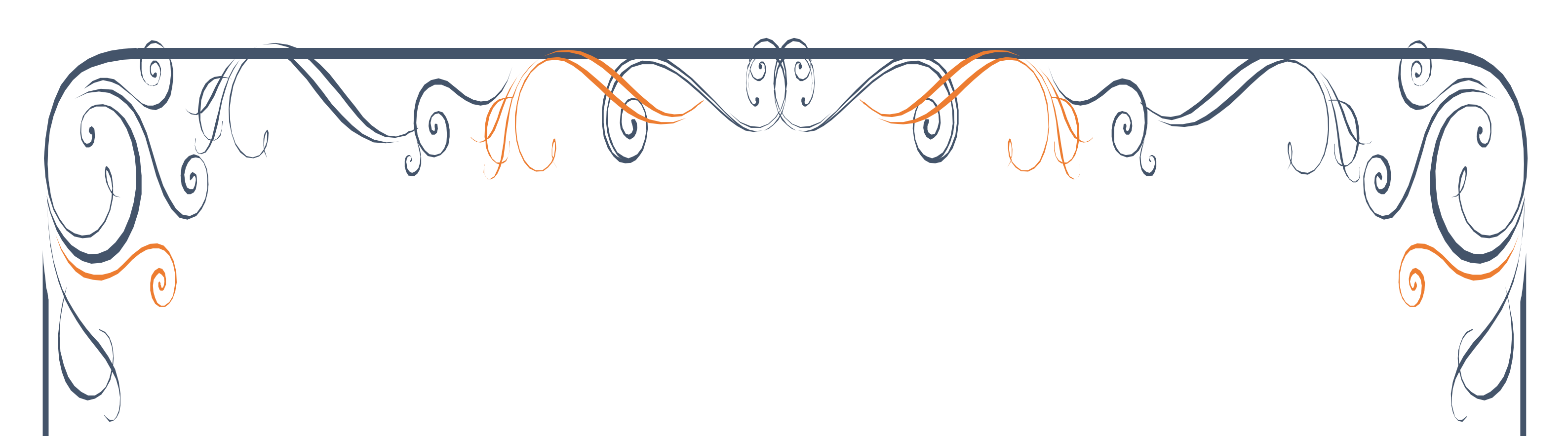
- يقوم بالإشراف على جميع أجزاء السفينة وأجهزتها من الناحية الفنية والتى تجعلها دائماً بحالة مرضية صالحة للأداء .
- هو المسئول عن واجبات حصر العطب ومكافحة الحريق وأمن المعدات فى غرف الآلات وملحقاتها ويقوم بتقديم المساعدات للأقسام الأخرى .
- **هو المسئول عن توزيع** الأعمال والنوبات للأقسام التى تتبعه ، مع مراعاة توفير ظروف التعاون المستمر بينها وحسن سير العمل .
- هو المسئول عن الاحتفاظ بالسجلات والتقارير والفواتير وشهادات هيئة الإشراف والتأمين بالنسبة للقسم الهندسى ، وطلب حضور مندوب هذه الهيئات للمعاينات وإثبات الحالات التى تستدعى ذلك .
- هو المسئول عن تنفيذ جميع التعليمات الخاصة بحفظ عهدة القسم بحالة سليمة ومرضية ليسهل تداولها عند الحاجة ، والقيام بمراجعة الدفاتر المخزنية وعمليات الإضافة والخصم والمرتجع ، وتكملة مخازن قطع الغيار طبقاً لاشتراطات هيئة الإشراف وما تمخضت عنه الخبرة الفعلية .
- عليه اتخاذ ما يلزم من الوسائل لتدريب ورفع مستوى الأفراد والطلبة حتى يكونوا على مستوى عالى من المعرفة والكفاية .

١٦ ـ ٥ قطع الغيار الواجب توافرها على السفينة

Spare-parts on board ship

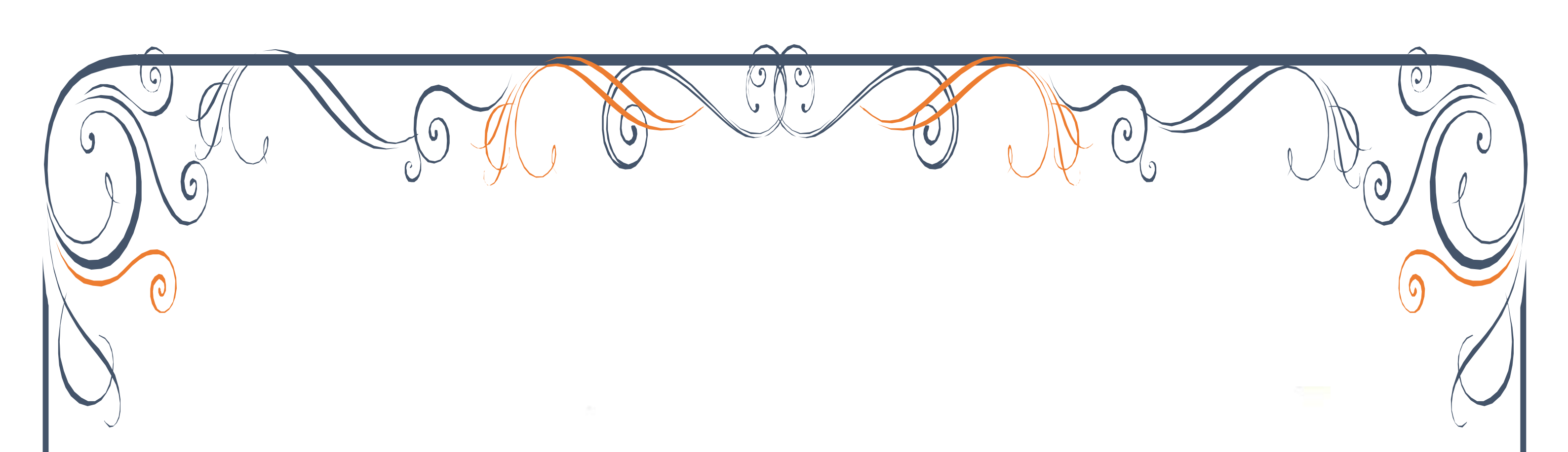
أنه من المهم أن يتوافر على السفينة قطع الغيار التى تحتاجها الإصلاحات الطارئة أو روتينات الصيانة ، ويجب أن تحفظ بنظام ويتبع الأسلوب السليم للمحافظة عليها ، أى أنه يجب الاحتفاظ بكل جزء مشحم ومغلف تماماً فى مكان معروف ويكون سهلاً للتداول عند الاحتياج .

وكشوف قطع الغيار يجب أن تكون مضبوطة تماماً ، مدوناً بها الحركة أولاً بأول لتجنب

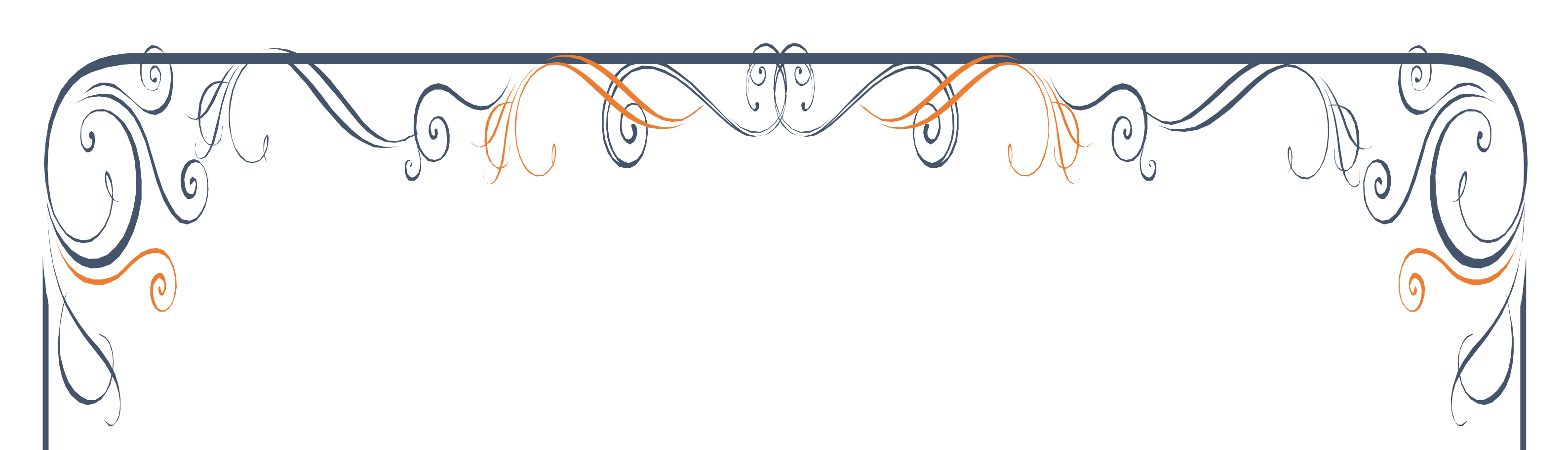


أى أخطاء قد تحدث . ويجب استعواض المستهلك فوراً كلما سمحت الفرصة ، ولا يكتفى لتحديد الأصناف الواجب توافرها على السفينة بالخبرة فقط ولكن قواعد هيئات التسجيل تحددها بالنسبة لسفينة ذات محرك رئيسى للخدمة غير المحددة ، كما هو موضح فيما بعد ، وفى حالة محطة الدفع المكونة من أكثر من محرك ، تحدد قطع الغيار لمحرك واحد فقط .

البند	العدد المطلوب	قطع الغيار
الكراسى الرئيسية	١	كرسى أو لقم الكرسى واحد من كل حجم أو نوع موجود ، كامل باللينات والمسامير والصواميل .
القميص	١	قميص كامل بحلقات النحاس أو المطاط
رأس الاسطوانه	١	رأس اسطوانة كاملة بالصمامات والحلقات والجنط.
	١/٢	مسامير وصواميل اسطوانة واحدة
صمامات رأس الاسطوانه	٢ مجموعه	صمامات عادم كاملة بالجسم والقواعد والبايات وخلافه لاسطوانة واحدة .
	١ مجموعة	صمامات حر كاملة بالجسم والقواعد والبايات وخلافه لاسطوانه واحده .
	١	صمام تقويم كامل .
	١	صمام أمان كامل .
	١/٢	حواقن الوقود من كل نوع ، كاملة بجميع التركيبات لمحرك واحد .
محامل أو لقم أذرع التوصيل	١ مجموعه	محامل أو لقم من كل حجم أو نوع للنهايه الكبرى، كاملة باللينات والمسامير والصواميل لاسطوانة واحدة .
	١	محامل أو لقم من كل حجم أو نوع للنهايه العلوية، كاملة باللينات والمسامير والصواميل لاسطوانة واحدة .



المكابس	١	أ) برأس إنزلاق : مكبس كامل بالعمود والحلقات والمسامير والصواميل وصندوق حشو عمود المكبس . ب) جذعية : مكبس كامل بالبنز والحلقات والمسامير والصواميل وذراع التوصيل .
حلقات المكبس	١ مجموعة	شنابر كاملة لاسطوانة واحدة
وحدة تبريد المكبس	١ مجموعة	مواسير تلسكوبية بلوازمها لاسطوانة واحدة .
ترس أو كتينة نقل الحركة لعمود الكامات	١ مجموعة	أ) النقل بالتروس : تروس نقل الحركة لمحرك واحد . ب : النقل بالكتينة
	٦	عقله بالبنوز والعجل لكل نوع موجود.
	١ مجموعة	لقم المحامل لكل نوع موجود .
المزايت	١	مزيتة كاملة بالترس أو الكتينة
مضخات الحقن	١	مضخة حقن كاملة أو مجموعة كاملة من الأجزاء العاملة للمضخة (الكباس والجلبة والصمامات والبايات) إذا كان عملياً يمكن تغييرها فى البحر .
ماسورة الحقن	١	ماسورة حقن ضغط عالى من كل مقاس موجود كاملة باللواكير .
مراوح الكسح (تشتمل على الشواحن التربينيه)	١ مجموعه	دوار بالعمود والمحامل ، وحلقات الفوهات والتروس . ملحوظه : إذا أمكن تشغيل المحرك بفصل أحد الشواحن فيمكن حذف قطع الغيار المشار إليها .
عكس الحركة و / أو تروس التخفيض	١ مجموعة	ــ لقم المحامل من كل نوع .
	١ مجموعة	ــ رمانات بلى أو درافيل لكل نوع موجود .
ضاغط الهواء الملحق بالمحرك	١ مجموعة	حلقات المكبس من كل مقاس .
	١ مجموعة	صمامات سحب وطرد كاملة من كل مقاس .
كرسى الضغط	١ مجموعة	لقم لوجه واحد (طراز ميتشيل) .



١٦ ـ ٦ المعاينات الدورية طبقا لمتطلبات هيئات التسجيل

Periodical surveys

تخضع جميع السفن للمعاينات الدورية بواسطة مندوبى هيئات التسجيل للحفاظ على مستوى التصنيف Classification الممنوح للسفينة ، فمثلاً تتخذ هيئة التسجيل Lloyd's الرموز التالية :

IOO AI + LMC وتعنى :

IOO AI أنه تم بناء السفينة طبقاً لقواعد ونظم الهيئة ، والرقم I بعد A يدل على الاحتفاظ السليم بحالة المخاطيف وفتحاتها والجنازير .

LMC : Lloyd's machinery certificate أى صلاحية المحركات والمعدات عند عمل المعاينة الدورية .

<u>وأنواع المعاينات هى :</u>

معينة سنوية : Annual survey

معاينة الحوض : Docking survey

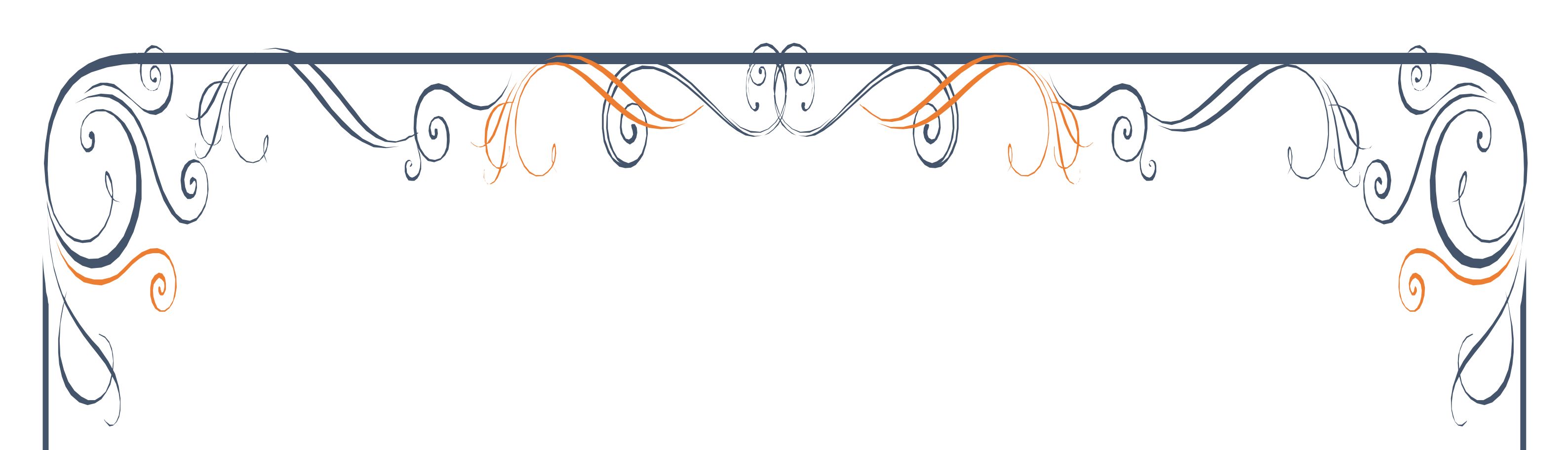
<u>المعاينة الخاصة</u> : Special survey

وتجرى هذه المعاينة على البدن والمحركات والمعدات معاً كل أربعة سنوات تبدأ بعد أربعة سنوات من تاريخ البناء أو التسجيل ، ثم بعد أربعة سنوات من تاريخ الكشف السابق . ولكن عادة تجرى على البدن فقط حيث يفضل إتباع نظام المعاينة المستمرة بالنسبة لمحركات والمعدات طبقاً لظروف التشغيل .

<u>المعاينة المستمرة</u> : Continuous survey

بناء على طلب مالك السفينة يتبع عادة نظام المعاينات المستمرة بالنسبة للمعدات ، وفى هذا النظام يتم معاينة أجزاء المعدات فى دورة مستمرة كلما سمحت ظروف العمل وما يظهر عن التشغيل ، ويتم الكشف والاختبارات على دورات لا تزيد عن ٥ سنوات بين الكشف والآخر ، ويمكن الكشف على ٢٠% من مجموع الآلات سنوياً ، ويعتبر هذا النظام مناسب للسفينة ، حيث أن ظروف التشغيل هى التى تحدد ميعاد المعاينة .

وبناء على طلب مالك السفينة يمكن لهيئة التسجيل السماح لكبير المهندسين بالكشف على بعض الأجزاء بالميناء التى لا يكون فيها مندوباً للهيئة ، على أن يتم التشاور فى الميناء التالى الذى يوجد به مندوب للهيئة .



الباب السابع عشر
الاستغلال الأمثل للطاقة
والجديد فى محركات الديزل البحرية

Energy optimized operation

And the new in marine diesel engines

<u>مقدمة :</u>

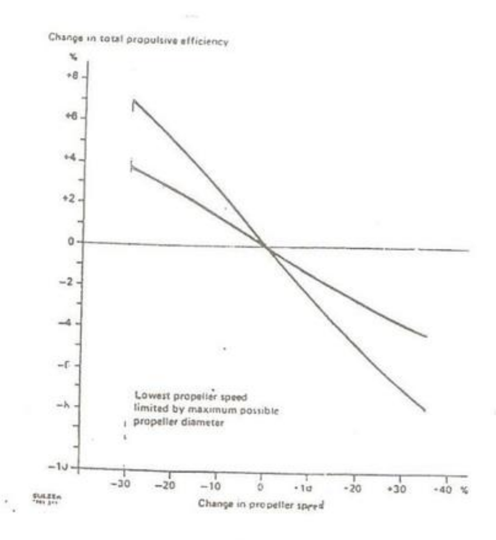
نظراً للزيادة الهائلة فى أسعار الوقود فى السنوات الأخيرة ، كان الهدف الأساسى لرواد صناعة محركات الديزل البحرية تطويرها لتحسين أداء اقتصاديات محطات دفع السفن بأكملها . وحيث أنه فى الأيام الأخيرة زادت تكلفة بند الوقود والزيوت زيادة كبيرة جداً بالنسبة للبنود الأخرى ، لذا فإن تكلفة التشغيل أصبحت فى الحقيقة أهم ما فى الموضوع عند إعادة تقييم عائد التكلفة الرأسمالية ، وعليه فقد اتخذ مصممى السفن الاعتبارات التالية عند تصميم نسبة كبيرة من سفن المستقبل لتقليل استهلاك الوقود :

١. تقليل سرعات السفينة وبالتبعية تقليل قدرات المحركات الدافعة .
٢. تغيير شكل مؤخر السفن ليناسب الرفاصات الكبيرة ذات السرعات البطيئة .
٣. مرونة تشغيل محركات الدفع على قدرات مختلفة ، وبأقل معـدلات اسـتهلاك للوقود .
٤. استعادة الطاقة المفقودة فى العادم أو التبريد .

وتقليل سرعة الرفاص تؤدى إلى زيادة كفاءة الدفع ، وبالتالى تقل قدرة الدفع المطلوبة للسفينة ويقل الوقود المستهلك .

وشكل (١٧ ـــ ١) يوضح التغير فى كفاءة الدفع بتغيير سرعة الرفاص .

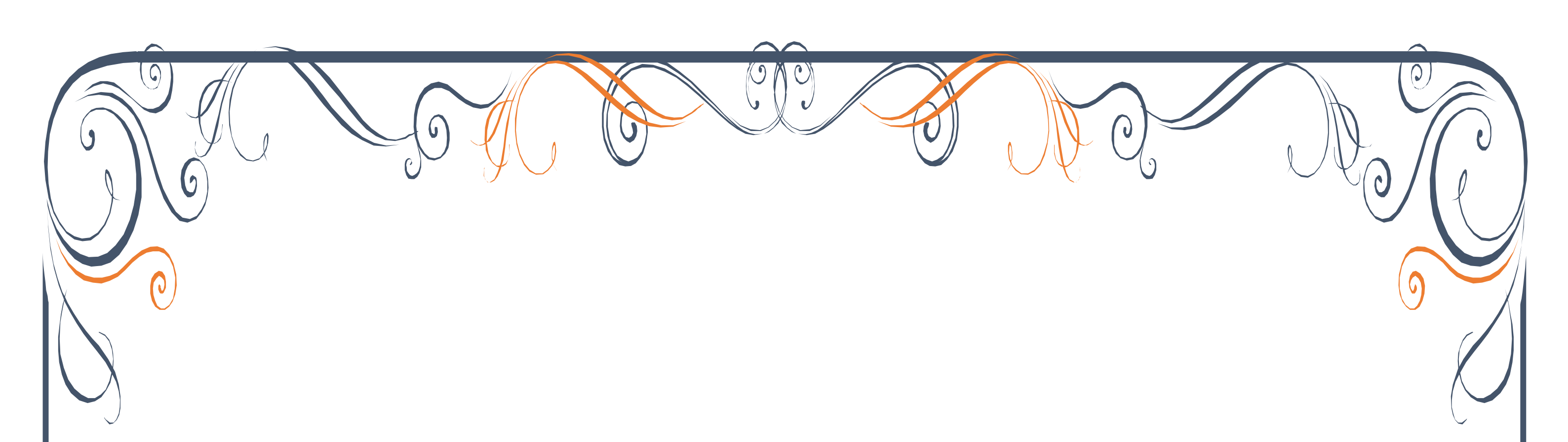


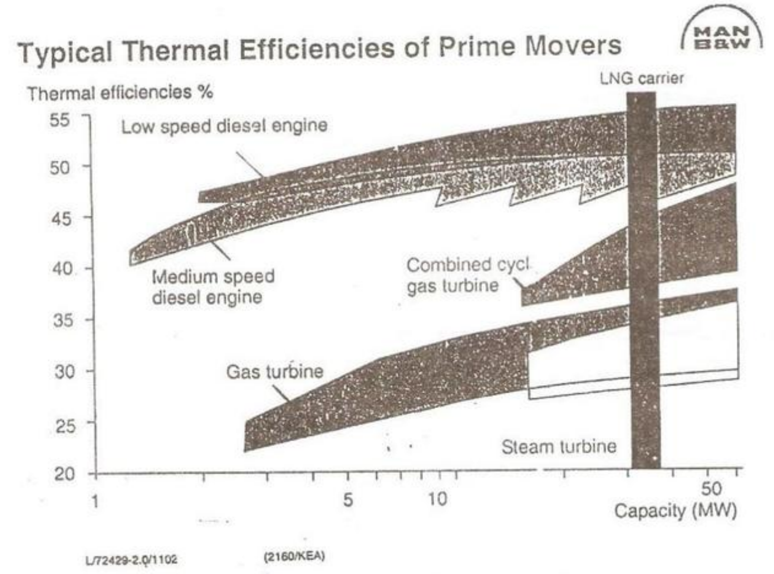


شكل (١٧ - ١)

وقد فُضل استخدام محركات الديزل البحرية لدفع السفن أو كآلات مساعدة ، واحتفظت بأفضليتها عن المحركات البخارية أو التربينات الغازية ، نظراً لكبر كفاءتها الحرارية ، ومازالت تثبت جدارتها خاصة بعد ثبوت إمكانية حرق أنواع الوقود الأقل جودة و المقدمة للأنواع الأخرى من المحركات .

والشكل (١٧ – ٢) يوضح مقارنة بين الكفاءات الحرارية لمحركات الديزل مع الوسائل لأخرى وتميزها عنها ، علاوة على قلة انبعاث ثانى أكسيد الكربون CO_2 emission .



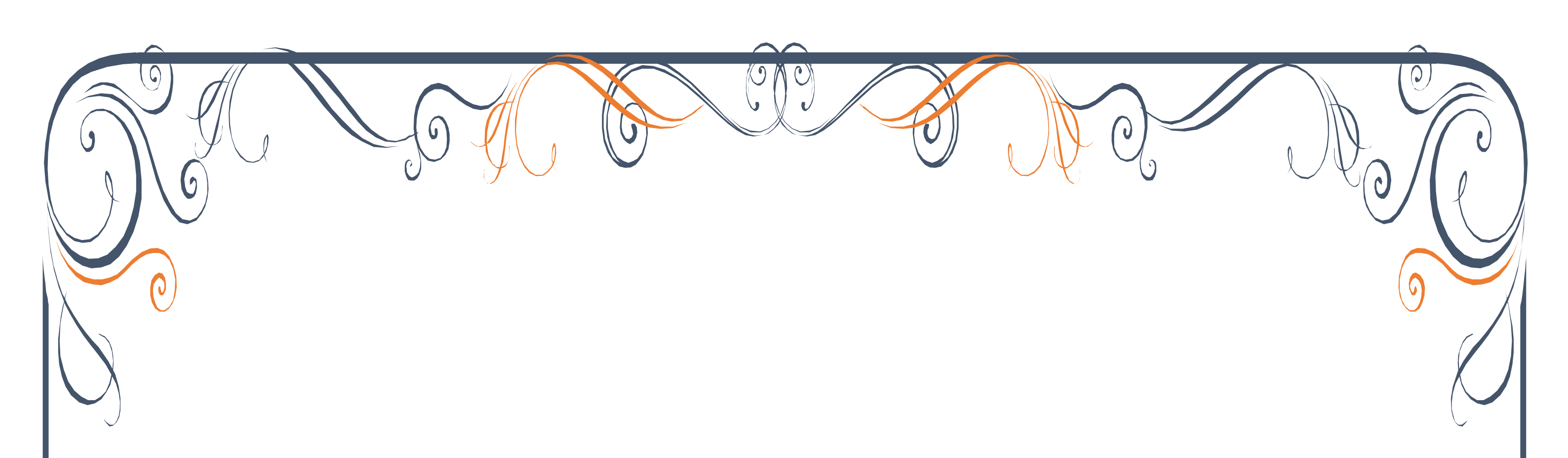


Typical thermal efficiencies of prime movers

شكل (١٧ – ٢)

<u>وبالإضافة يجب أن يتوفر التالى فى محركات الديزل البحرية :</u>

١. صغر السرعة الدورانية للرفاص .
٢. قلة معدل استهلاك الوقود والزيوت .
٣. إمكانية حرق الوقود الأكثر رداءة .
٤. إمكانية استعادة الطاقة المفقودة بكفاءة لتوفير الطاقة المساعدة .
٥. الاعتماد التام عليها مع أمان التشغيل .
٦. سهولة وقلة تكلفة الصيانة .
٧. الالتزام بمتطلبات المنظمة الدولية .I.M.O من ناحية أكاسيد النتروجين NO_x فى العادم .



<u>ويمكن تقليل السرعة الدورانية للرفاص بالطرق التالية :</u>

<u>أولاً : تروس التخفيض :</u>

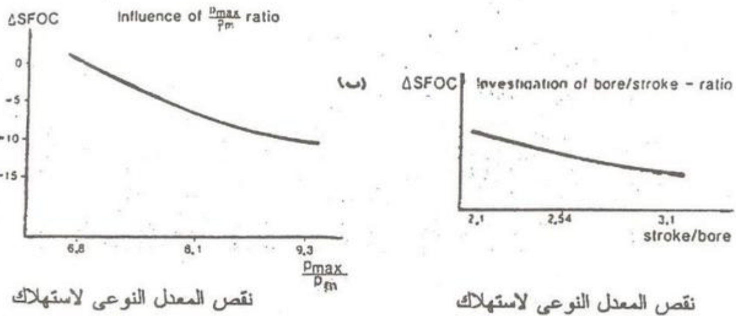
ولهذه الطريقة عيوب عديدة مثل : احتياجها إلى مكان مناسب ، التعقيدات ، التكلفة الإضافية ، الفقد الميكانيكى . وهذه الطريقة مقبولة فى حالة التخفيض الكبير للسرعة ، كما هو فى حالة استخدام المحركات المتوسطة السرعة .

<u>ثانياً : زيادة نسبة مشوار المكبس إلى قطر الاسطوانه :</u>

وقد دلت الدراسات أن هذا هو الحل الأمثل لمحركات الديزل البطيئة السرعة حيث يترك ارتفاع المحرك بدون تغيير تقريباً ، ويتميز بالبساطة وقوة التحمل ، والاتصال المباشر بالرفاص ، وقد اتجه إليه معظم صناع محركات الديزل البحرية .

ومن الشكل (١٧ ــ ٣) يتضح أن م.ن.أ.و (المعدل النوعى لاستهلاك الوقود) يقل بالآتى :

- زيادة نسبة المشوار / القطر .
- زيادة نسبة أقصى ضغط / الضغط المتوسط الفعال (P_{max} / P_m) .
- تحسين كفاءة الشاحن التوربينى .

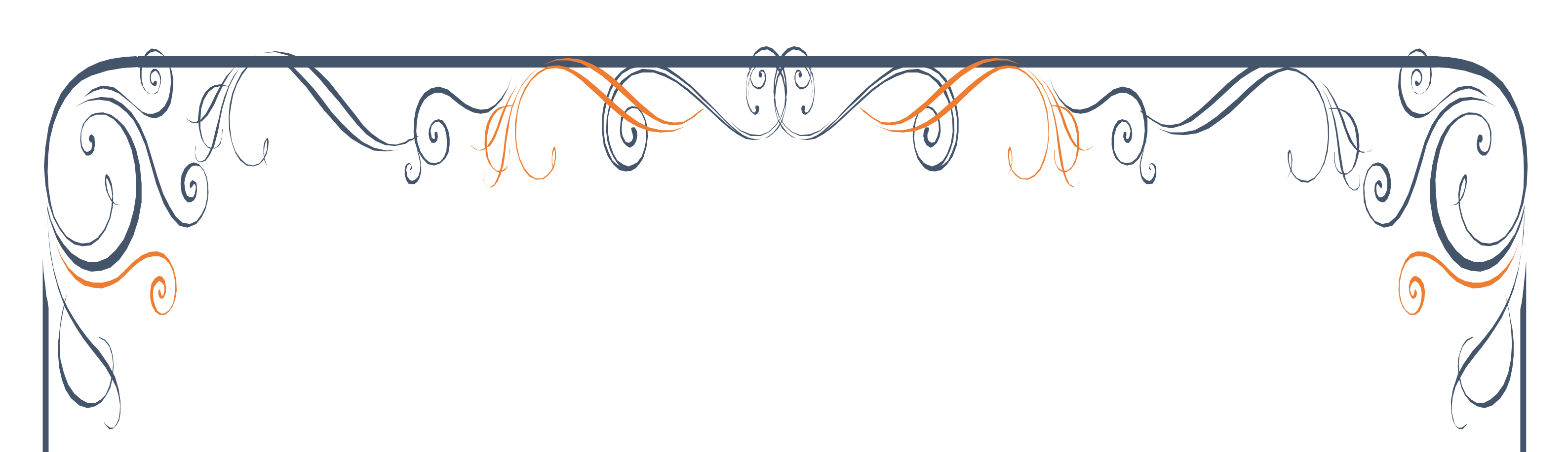


نقص المعدل النوعى لاستهلاك الوقود بزيادة النسبة بين أقصى ضغط والضغط المتوسط الفعال
(ب)

نقص المعدل النوعى لاستهلاك الوقود بزيادة نسبة المشوار / القطر
(أ)

شكل (١٧ ــ ٣)





١٧ ـ ١ : التطورات والاتجاهات الحديثة

لقد بذل منتجى محركات الديزل البطيئة مجهود كبير جداً للاحتفاظ بمكانتها وسيطرتها على تشغيل السفن الكبيرة مثل سفن الحاويات والبضائع وناقلات البترول . ويرجع ذلك لاقتصاديتها وبساطتها وقوة تحملها واتصالها المباشر مع الرفاص . وانحصر إنتاجها فى ثلاث منتجين : Mitsubishi – MAN-B&W – New-Sulzer ويورى كل من إنتاجهم التشابه فى أوجه متعددة مثل :

١. نظام خروج العادم بطريقة الضغط الثابت .
٢. الكسح الطولى للعادم ، عن طريق صمام عادم يعمل هيدروليكياً .
٣. إنتاج المحركات بأقطار مختلفة من صغيرة إلى كبيرة ، ذات المشوار (صغير – طويل – فائق) .

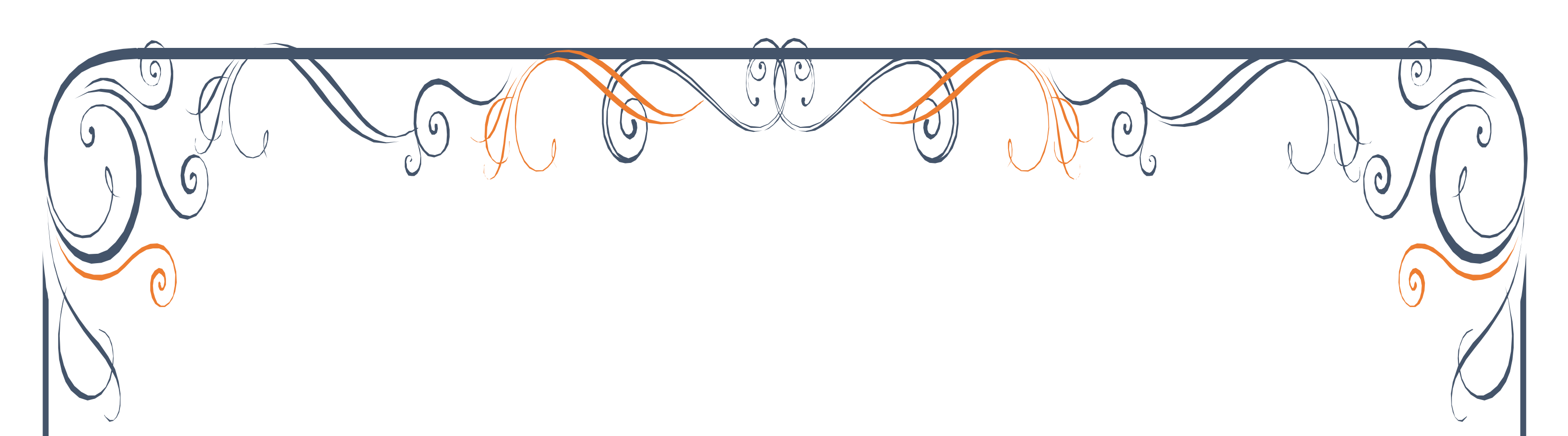
<u>ويمكن إيجاز المواصفات المشتركة فى الآتى :</u>

القطر :	من ٢٦٠ مم إلى ٩٨٠ مم .
عدد الوحدات :	من ٤ إلى ١٢
أقصى ضغط :	قد يصل إلى ١٨٠ بار .
نسبة المشوار / القطر :	قد يصل إلى ٤,٢ / ١
الســـرعة :	من ٥٥ إلى ٢٥٠ لفة / دقيقة
الضغط المتوسط الفعال :	قد يصل إلى ٢١ بار .

إمكانية زيادة قدرة المحرك الواحد إلى أكثر من ٦٥,٠٠٠ كيلووات .

<u>هذا بالإضافة إلى المميزات التالية :</u>

- أقل معدل لاســـتهلاك الوقود على مجال تشـــغيل واسع حيث يصل إلـــى ١٥٤ جم/كيلووات.ساعه .
- التكيف مع نوعيات الوقود المختلفة .
- تنفيذ متطلبات المنظمة الدولية .I.M.O بخصوص أكاسيد النتـــروجين NO_x بالعادم .



منظومة حقن الوقود :

منظومة حقن الوقود لها تأثير هام على عملية الاحتراق ، وعليه فهى تلعب دوراً كبيراً فى تحسين استهلاك الوقود وتقليل أكاسيد النيتروجين (NO_x) فى العادم ، وعليه يجب مراعاة الآتى :

١ ـ يحتفظ بضغط الحقن على أن يكون أعلى من ١٢٠٠ بار فى جميع المراحل للحصول على تذرير جيد للوقود وخلط جيد مع الهواء ، وقد ارتفع إلى ٢٠٠٠ بار فى المحركات الحديثة .

٢ ـ فترة الحقن تكون فى حدود ٢٠° من زوايا عمود المرفق للحصول على أقل وقت للحريق لتقليل انبعاث أكاسيد النتروجين NO_x .

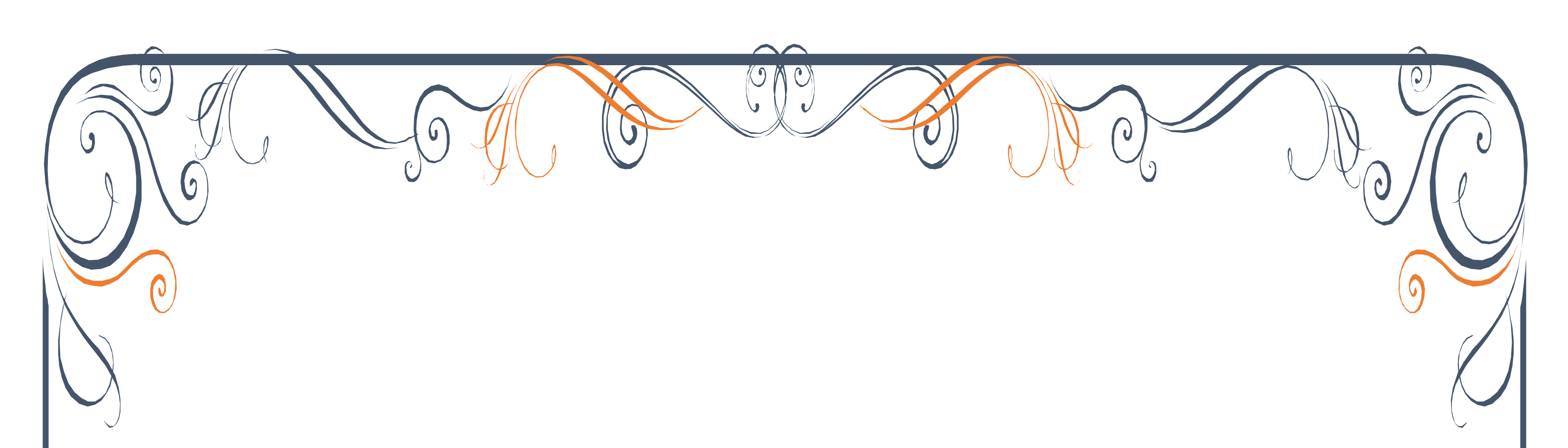
٣ ـ زيادة نسبة الانضغاط حيث أن زيادة الضغط فى بداية الحقن يقلل فترة التعوق ، ويزيد من السريان فيزيد معدل الضغط .

٤ ـ للتغلب على مشاكل زيادة فترة التعوق لبعض أنواع الوقود ذو الجودة المنخفضة ، تم اللجوء إلى طريقة الحقن المسبق Pre-injection مع رفع ضغط الحقن .

٥ ـ ضبط التحكم الإلكترونى فى توقيت الحقن يحسن انبعاث أكاسيد النيتروجين NO_x عند جميع الأحمال والسرعات .

ملحوظة :

وللحصول على درجة أمان عالية يجب أن تحقق منظومة حقن الوقود ، عدم توقف المحرك حتى لو حدث توقف كامل لمصادر الطاقة الكهربائية بالسفينة .



١٧ ـ ٢ قدرة المحرك الديزل

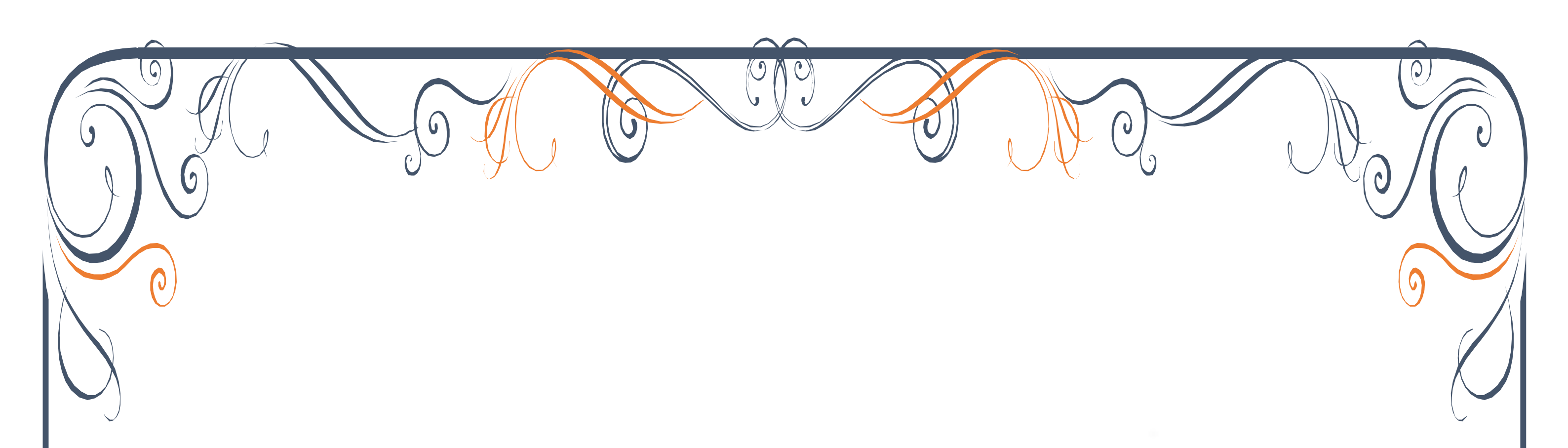
Reduction of specific fuel consumption

لقد سبق تناول هذا الموضوع فى (٩ – ٦) وذلك بالتشغيل عند القدرات الاقتصـادية ويتم ذلك بالاحتفاظ بقيمة P_{max} عند .M.C.R بالرغم من تقليل السرعة والضغط المتوسط الفعال (ض . م . ف .) P_m وعليه تزيد النسبة بين $\frac{P_{max}}{P_m}$ فيقل المعدل النـوعى لاستهلاك الوقود ، كما يتضح من الشكل (١٧ – ٣) . وقد تم التوصل إلى ذلك بالتشغيل إلى ٨٠% من الحمل الكلى .M.C.R باستخدام آلية تغيير توقيت الحقن .V.I.T .

علاوة على ذلك فإن تزويد المحرك الديزل الحديث بوسيلتى تغيير توقيت الحقن V.I.T وتغيير توقيت غلق صمام العادم V.E.C أعطت مرونة عالية فى الأداء . حيـث أنـه تـم التوصل إلى الدرجة المثلى للمعدل النوعى لاستهلاك الوقود – على مدى التشغيل كلـه – باستخدام وسيلتى التحكم V.I.T , V.E.C ، بالإضافة فإن وسيلة V.I.T تتضمن F.Q.S أى إمكانية تغيير توقيت الحقن طبقاً لنوعية الوقود . ويقدر الوفر فـى المعـدل النـوعى لاستهلاك الوقود بحوالى ٥جم/كيلووات ساعه .

ففى حالة الأحمال العالية : من M.C.R إلى السرعة الاقتصادية E.R = ٨٠% مـن الحمل الكلى ، يتم ذلك بالحفاظ على قيمة أقصى ضغط P_{max} بتقديم توقيت الحقن . أمـا فى حالة الأحمال المنخفضة (بين ٦٥% إلى ٨٠%) فيتم ذلك برفـع نسـبة الانضـغاط Compression-ratio أى بتبكير توقيت غلق صمام العادم (فى حالة المحركات السولزر) كما سيرد فيما بعد . و حديثاً يتم التحكم فى كل منها إلكترونياً من منظومـة الـتحكم فـى المحرك نفسه .

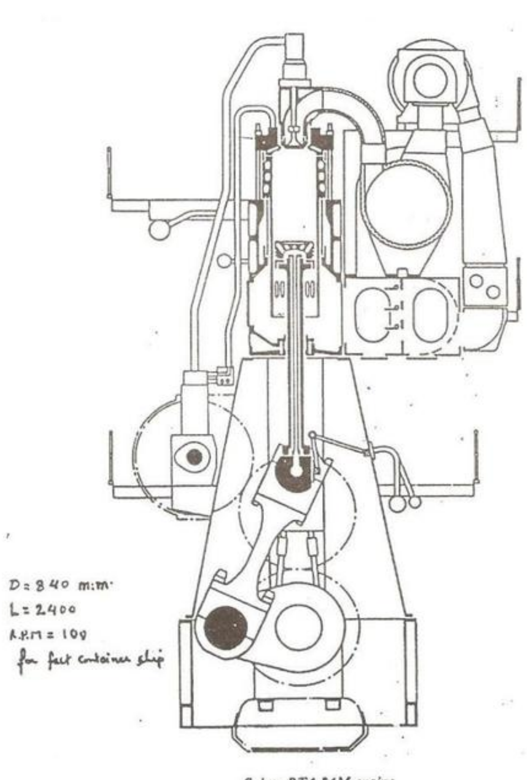
ومن ذلك يتضح إمكانية انخفاض المعدل النوعى لاستهلاك الوقود على مدى التشغيل ، كما أن ارتفاع درجة حرارة العادم تفيد تماماً فى استعادة الحرارة المفقودة .



١٧ ـ ٣ محركات الديزل " سولزر " R.T.A

Sulzer R.T.A. diesel engines

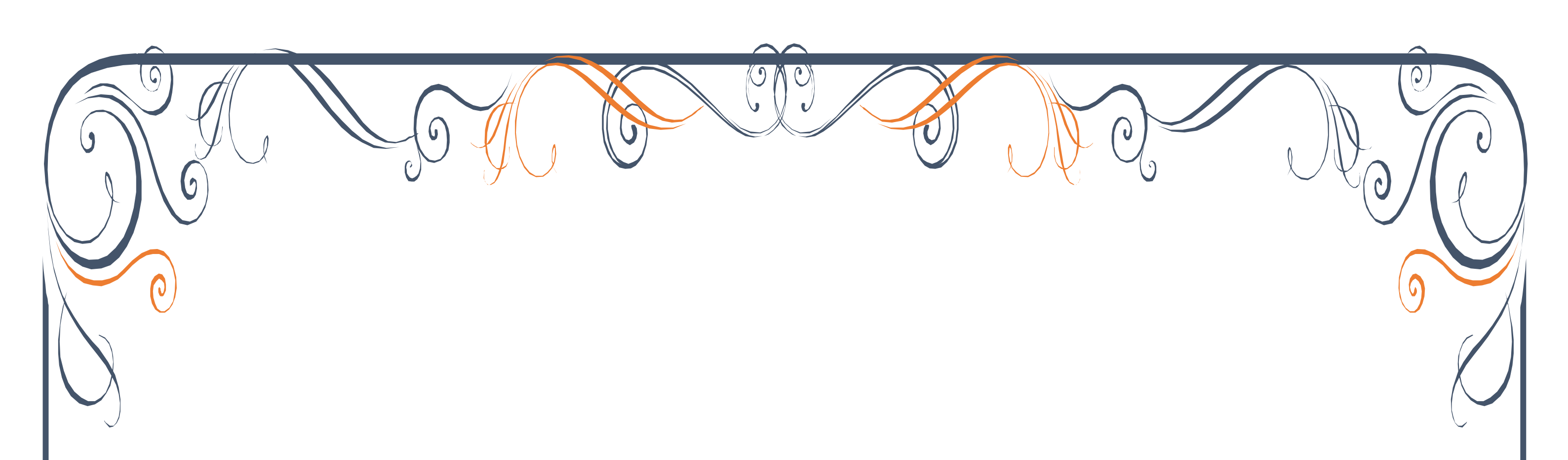
يوضح الشكل (١٧ ـ ٤) مقطع رأسى فى المحرك Sulzer R.T.A-84M ، ويعتبر من أحدث الإنتاج : القطر ٨٤٠ مم ، المشوار ٢٤٠٠ مم ، السرعة ١٠٠ لفة / دقيقة ، وينتج بعدد اسطوانات من ٤ إلى ١٢ إسطوانة ويفى باحتياج سفن الحاويات الكبيرة والسريعة .



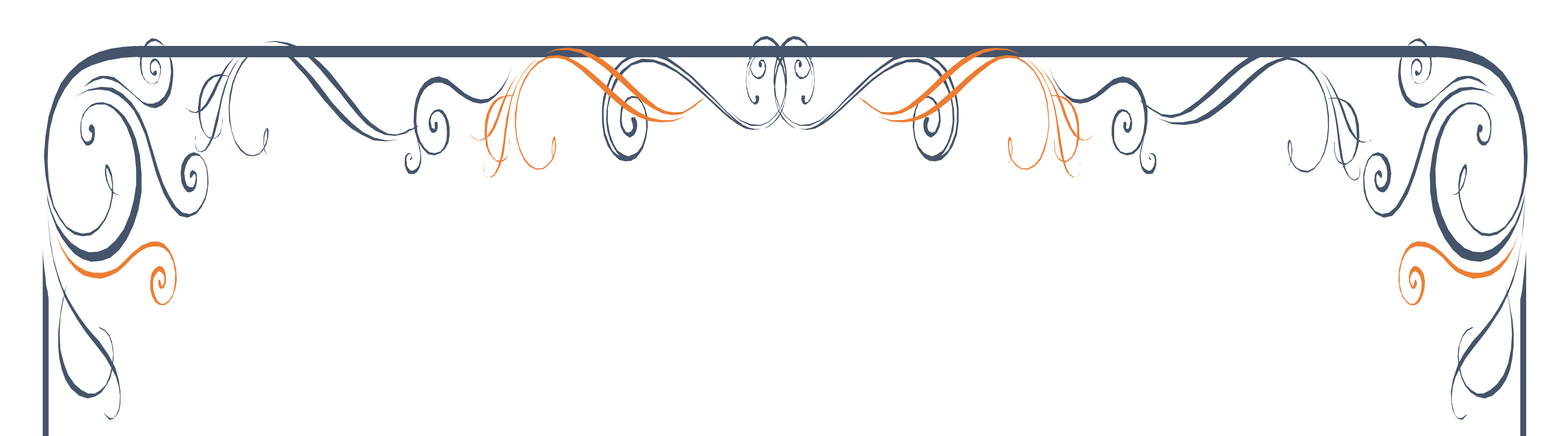
Sulzer RTA 84M engine

شكل (١٧ – ٤)





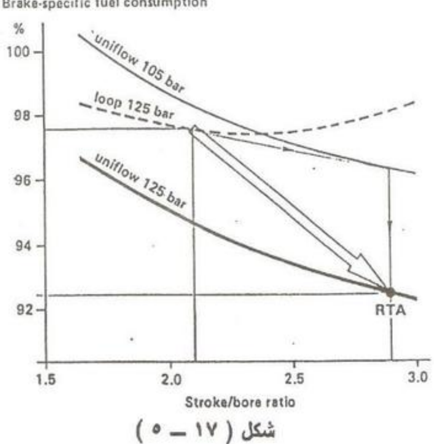
- الفرش Bedplate : ذو شكل صندوقى ويصنع من الصلب المشكل ، والدعامات العرضية من الصلب المصبوب ، ويحتوى على كرسى الدفع . ويتم تجميع جسم الاسطوانات والهيكل والفرش بواسطة مسامير الشدادات Tie-bolts .
- يتميز القميص Liner بزيادة سمك الجزء العلوى المعرض للضغوط العالية ، ويبرد بثقوب خاصة Bore-cooling وبمعدلات صحيحة للحفاظ على درجات الحرارة المناسبة ، أما الجزء السفلى والذى يشتمل على بو ابات الكسح فلا يبرد . ويتم تزييت القميص بالمزايت وتوجد على مستويين وذلك لتقليل معدل البرى ، وتعتمد كمية الزيت على الحمل .
- يصنع رأس الاسطوانة من الصلب المطروق ويحتوى على مجارى وثقوب لمياة التبريد، ويحتوى على صمام العادم بمنتصف الرأس ، ويتم تبريده بكفاءة عالية ، وكذلك يراعى نقل الحرارة من حول حواقن الوقود الغير مبردة .
- يصنع صمام العادم من سبائك Nimonic 80A ، ويتم دورانه بواسطة الزعانف Vanes المثبتة على العمود ، ويفتح هيدروليكياً ويقفل بالهواء .
- يتكون المكبس من التاج Crown المصنع من سبائك الصلب ، ويحتوى على خمسة شنابر ضغط فى مجارى مطلاة بالكروم ، والجزء قصير ومصنع من الحديد الزهر . يبرد المكبس بالزيت ، وتساعد عملية الخض Shaker والتدفق على كفاءة التبريد بدخول الزيت إلى ثقوب التبريد القريبة من سطح تاج المكبس وخلف مجارى الشنابر ، ويدخل الزيت بضغط مرتفع للرأس المنزلق عن طريق الذراع المتأرجح ، ومنه إلى عمود المكبس والمكبس .
- عمود المرفق نصف جزئى ، ومساحات التحميل على المحامل كبيرة ، وتثبت غطيان المحامل الرئيسية بروافع هيدروليكية . نقل الحركة لعمود الكامات عن طريق التروس ، ويحتوى على المؤازر Servomotor لتشغيل طلمبات الوقود وموزع الهواء عند عكس الحركة .
- تحتوى طلمبات الوقود على منظومة V.I.T للحفاظ على الاحتراق الجيد – أنظر (١٧ – ٣ – ١) وكل طلمبة تغذى ثلاث حواقن غير مبردة مثبتة برأس الاسطوانة – بل تبرد ذاتياً بالوقود كما سبق ذكره .
- يتم خروج العادم بنظام الضغط الثابت ، إلى شواحن توربينية غير مبردة وذات كفاءة عالية وتستكمل بمروحتين كهربيتين تعملان معاً عند السرعات المنخفضة



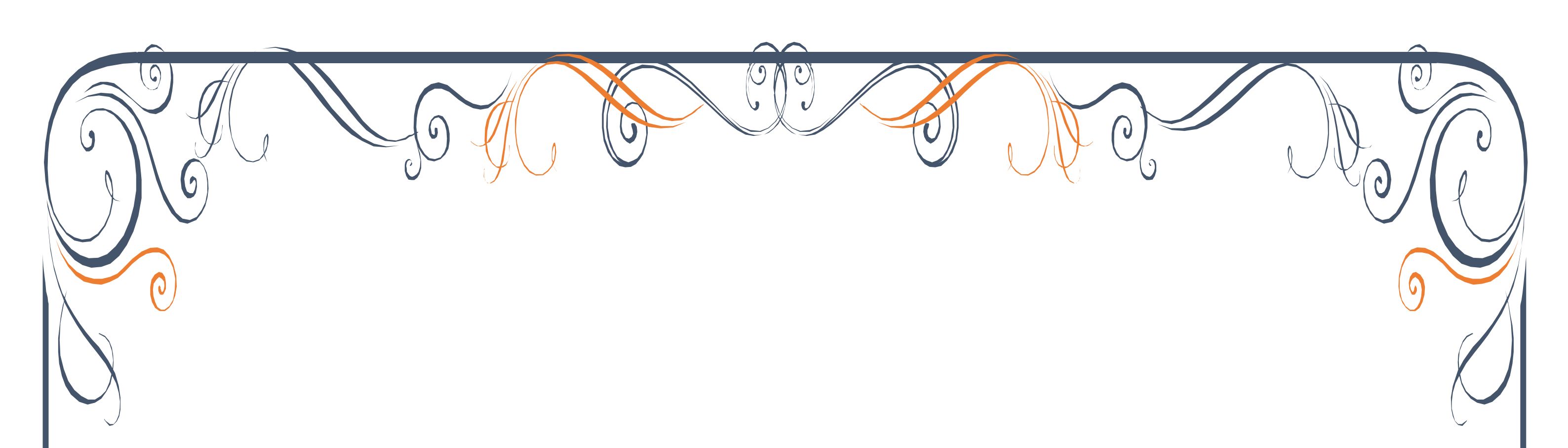
ويتميز هذا المحرك بالآتى :

- البســــــاطة .
- المتانة وصغر الاجهادات على الأجزاء المختلفة .
- نسبة المشوار / القطر = ٢,٨٦ .
- انخفاض م.ن.أ.و. لأقل من ١٦٠جم/ ك.وات.ساعة .
- القدرة على حرق الوقود المنخفض الجودة .
- أقل معدل لاستهلاك زيوت التزييت .
- اتباع نظام الضغط الثابت لخروج الغازات .
- استخدام الشواحن التوربينية الغير مبردة ذات الكفاءة العالية .
- إمكانية استعادة الطاقة المفقودة بكفاءة عالية .

ولأول مرة قامت شركة (سولزر) بتغيير نظام الكسح الدائرى الذى اتبع فـــى جميـــع محركاتها الديزل بطيئة السرعة إلى نظام الكسح الطولى وذلك لأنه فى حالة المحركات التى يزيد فيها نسبة المشوار / القطر عن ٢,٥ ويتبع فيها نظام الكسح الطولى ، يقل المعـــدل النوعى لاستهلاك الوقود بحوالى ٤% كما يتضح من الشكل (١٧ ــ ٥) .



شكل (١٧ ــ ٥)



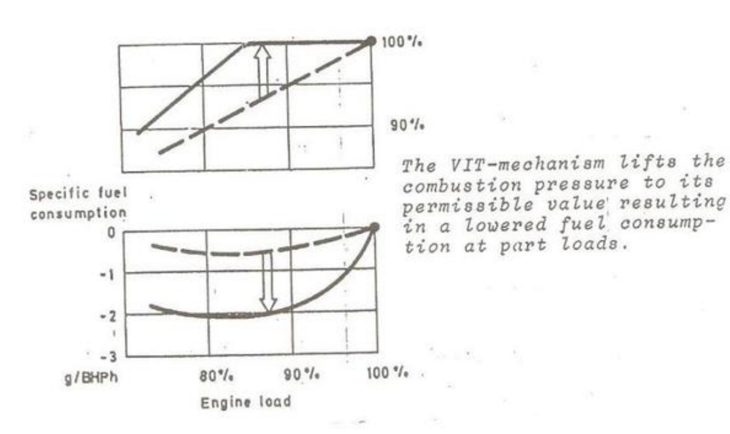
١٧ ـ ٣ ـ ١ : نظام تغيير توقيت الحقن :

The variable injection timing (V.I.T.)

إن للنقطة المعينة التى يبدأ عندها الحقن فى الدورة الحرارية تأثير قاطع على عمليـة الاحتراق ، وتتحدد هذه النقطـــة فى منظومات الحقن العادية من الشكل الجـانبى لكامـة Cam - profile مضخة الحقن ، وهذا يعنى ان توقيت الحقن يكون الأمثل فقط عند الحمـل الكامل ، أما عند الحمل الجزئى فيظهر الحقن المبكر أو المتأخر وآثاره على ضغط الاحتراق فالهدف هو إيجاد وسيلة تقوم بضبط توقيت الحقن ليناسب الحمل ونوع الوقود المستخدم .

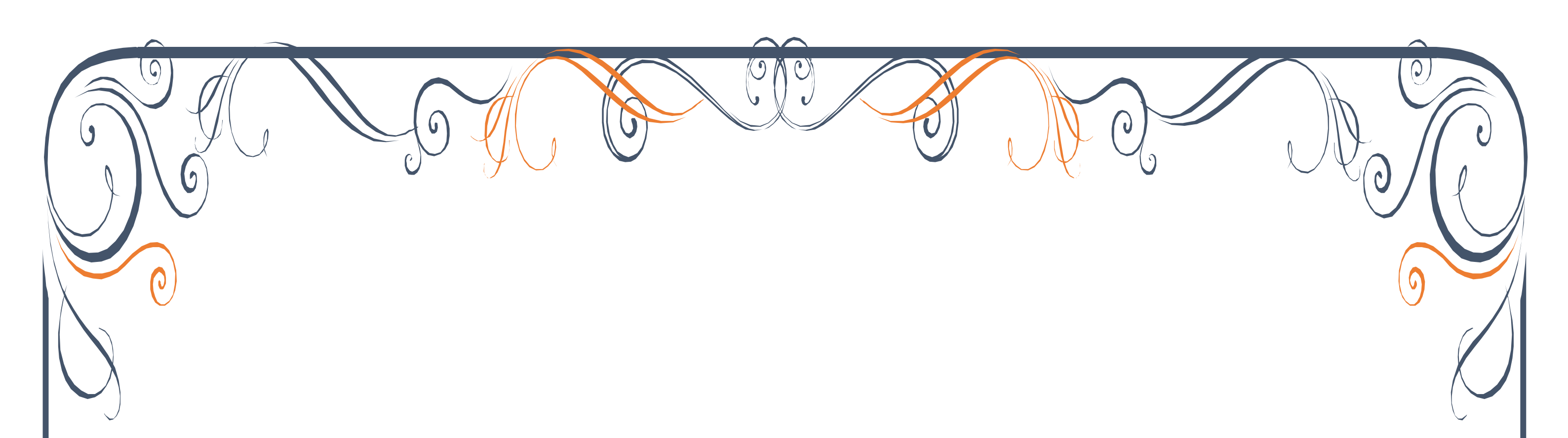
إن الزيادة فى ضغط الاحتراق تزيد النسبة بين أقصى ضغط والضغط المتوسط الفعال ، وعليه ينخفض المعدل النوعى لاستهلاك الوقود كما سبق ذكره فى شكل (١٧ – ٣) .

والشكل (١٧ ـ ٦) يوضح ضغط الاحتراق والمعدل النوعى لاستهلاك الوقود بالنسبة للحمل باستخدام وبدون استخدام نظام الحقن المتغير .V.I.T ويظهر واضحاً ثبوت الضغط إلى ٨٥% من الحمل الكامل (موضحاً بالخط الكامل) ويتبعه انخفاض حـوالى ٢% مـن المعدل النوعى لاستهلاك الوقود .



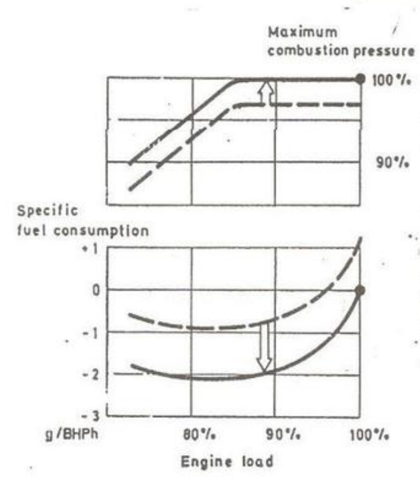
شكل (١٧ ــ ٦)





من المعروف أن استخدام الوقود الأقل جودة يؤدى إلى تأخير الإشتعال ، ومن ثم يقل ضغط الاحتراق ويزيد المعدل النوعى لاستهلاك الوقود ، وبتقديم نقطة الحقن من الممكن التوصل إلى ضغط الاحتراق السليم ، وعليه يقل المعدل النوعى لاستهلاك الوقود .

من الشكل (١٧ ــ ٧) يتضح أن انخفاض ضغط الاحتراق نتيجة احتراق وقود أقل جودة يتبعه زيادة فى المعدل النوعى لاستهلاك الوقود ، وعليه فإن آلية F.Q.S تقوم بضبط بداية الحقن لتناسب نوع الوقود والحمل ، وبتغيير بداية الحقن يمكن تغيير ضغط الاحتراق وزيادته فقط إلى حد ما لا يسبب اجهاد المحامل ، ويبقى ضغط الاحتراق ثابتاً اعتباراً من الحمل الكلى ١٠٠% إلى ٨٥% حمل .

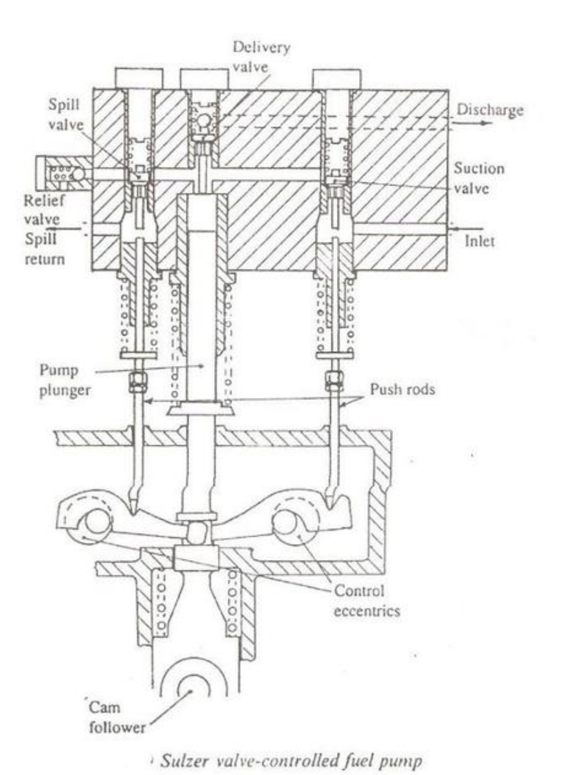


For fuels with poor ignition quality the maximum combustion pressure would drop due to late combustion with the result of an increased specific fuel consumption. The manual lever of the VIT in those cases allows to compensate this tendency by advancing the injection timing. Thus the specific fuel consumption can be brought back to the original value.

شكل (١٧ ــ ٧)

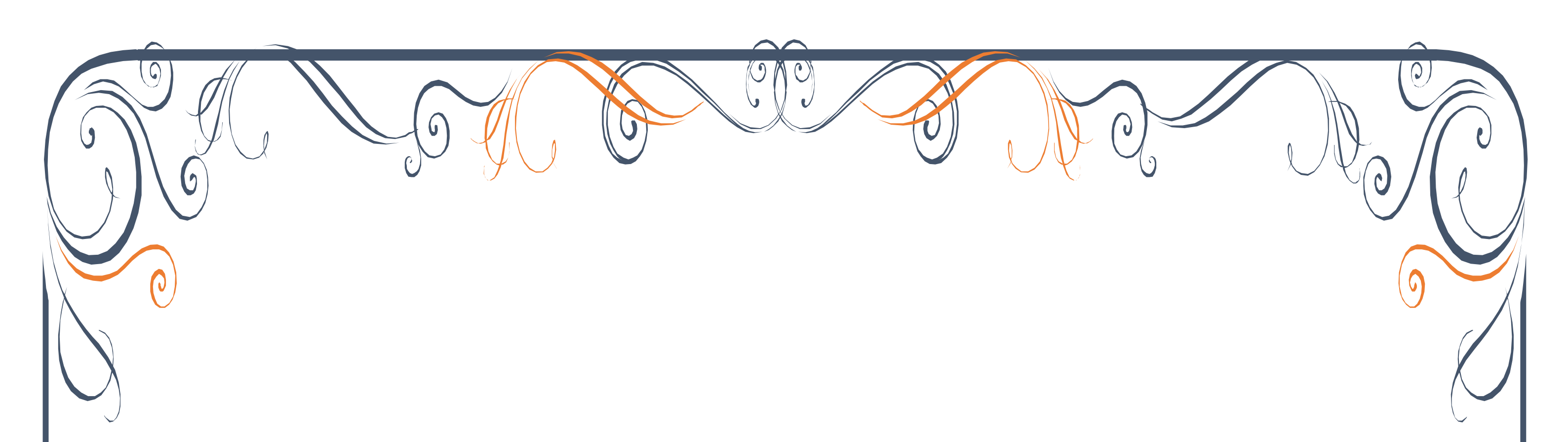
وللتوضيح يمكن الاستعانة بالشكل (١٧ – ٨) وهو الرسم التفصيلى لطلمبة حقن الوقود " سولزر " حيث يتم التحكم فى كمية الوقود عن طريق الصمامات . بصعود كباس طلمبة الحقن ، يقفل صمام السحب ويبدأ الحقن ، وينتهى الحقن بفتح صمام التصريف Spill-valve ، وبذلك يمكن التحكم فى بداية ونهاية الحقن ، والشكل (١٧ – ٩) يوضح ذلك .





Sulzer valve-controlled fuel pump

شكل (١٧ – ٨)



suction valve

spill valve

linkage from VIT unit

early

load 100%

75%

50%

25%

stroke of cam

injection

TDC crank angle

Sulzer low-speed engines have been equipped with <u>double valve-controlled fuel injection pumps</u>. The fuel dosage has been realized by controlling the end of injection, keeping constant the timing of the injection begin.

The <u>VIT (Variable Injection Timing)</u> mechanism introduced for the RL-engines allows a <u>superposed control</u> of the timing of the injection phase, i.e. a <u>synchrononous shifting of begin and end of injection</u>.

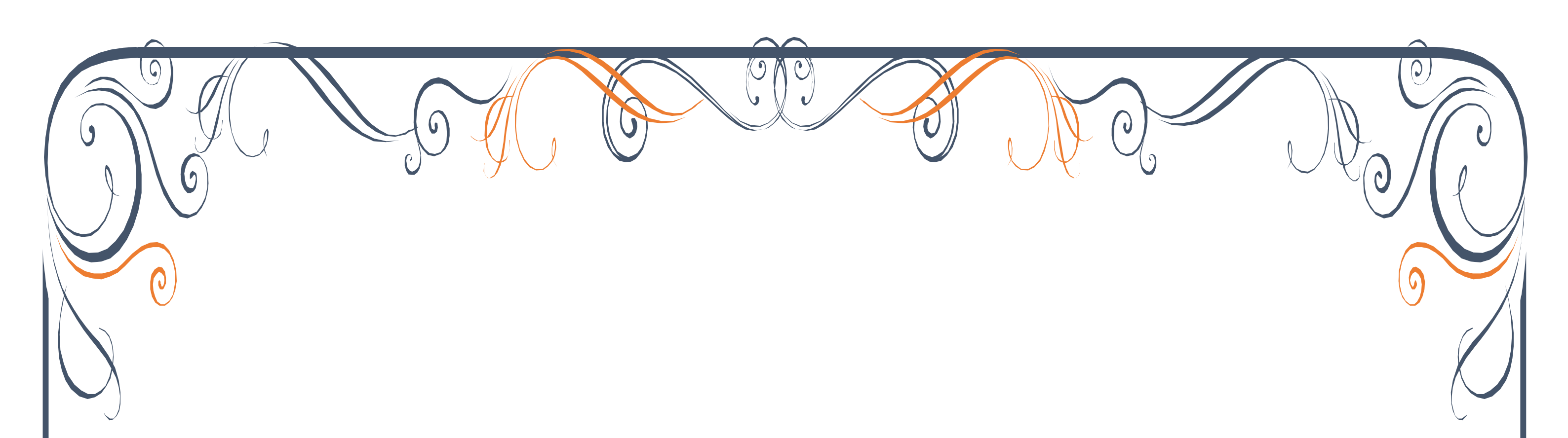
شكل (١٧ – ٩)

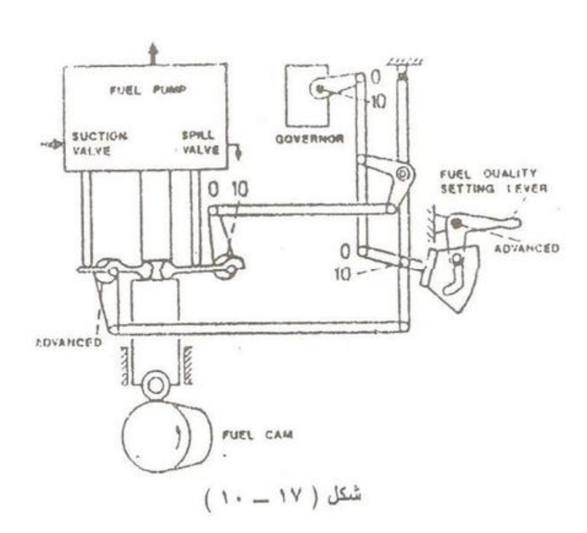
أما الشكل (١٧ – ١٠) فيوضح وسيلة التحكم V.I.T. لتغيير بداية الحقن لتناسب الحمل ، ويتضح أن منظم السرعة Governor يتصل بعمودى التحكم المتصلين بصمامى السحب والتصريف لمضخة حقن الوقود .

وقد تضمنت آلية V.I.T. رافعة خاصة يمكن بواسطتها ضبط توقيت الحقن يدوياً بما يتناسب مع نوعية الوقود والظروف الجوية .

وبهذا يمكن التوصل إلى أفضل أداء لتقليل المعدل النوعى لاستهلاك الوقود .

وسابقاً كان يتم هذا التحكم يدوياً ، ولكنه يتم حالياً الكترونياً عن طريق منظومة التحكم الالكترونى المزود بها محرك الديزل .





شكل (١٧ ـ ١٠)

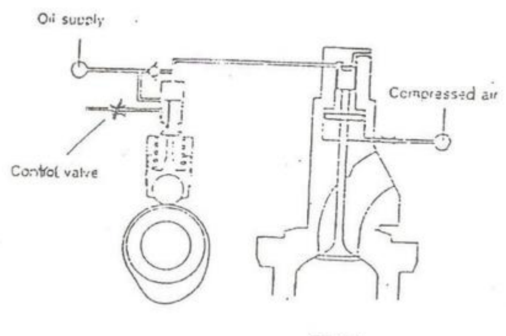
١٧ – ٣ – ٢ : التحكم فى نسبة الانضغاط : Variable compression-ratio

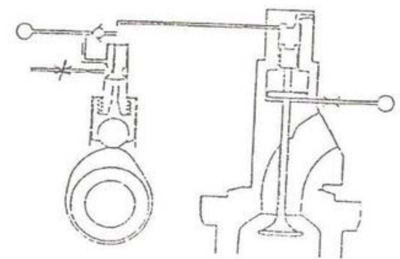
بالإضافة لما سبق يمكن تحسين أداء المحرك الديزل عند الأحمال الأقل (من ٨٠% إلى ٦٥% من الحمل الكامل) بوسيلة تغيير توقيت غلق صمام العادم (V.E.C.) :

فبتبكير غلق صمام العادم ، تزيد نسبة الانضغاط Compression-ratio حيث تقل كمية حرارة الشحنة المفقودة ، وهذا يؤدى إلى تقليل المعدل النوعى لاستهلاك الوقود (م.ن.أ. و).ومن وراء ذلك يقل م.ن.أ.و. طيلة مجال التشغيل بحوالى ٥جم / ك.وات .ساعة،وعلاوة على ذلك فإن الزيادة فى درجات حرارة العادم لها قيمتها فى استعادة الحرارة المفقودة .

والشكل (١٧ – ١١) يبين المنظومة المستخدمة فى غلق صمام العادم للمحرك " سولزر " أما الشكل (١٧ – ١٢) فيوضح منحنيات الأداء للمحرك الديزل- Sulzer RTA 84T .





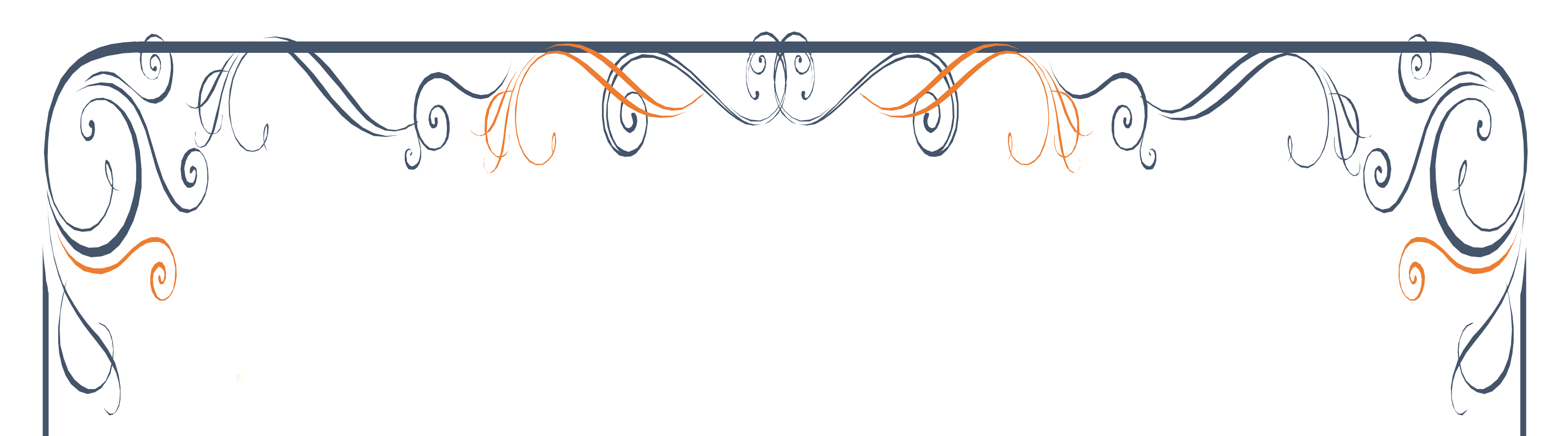


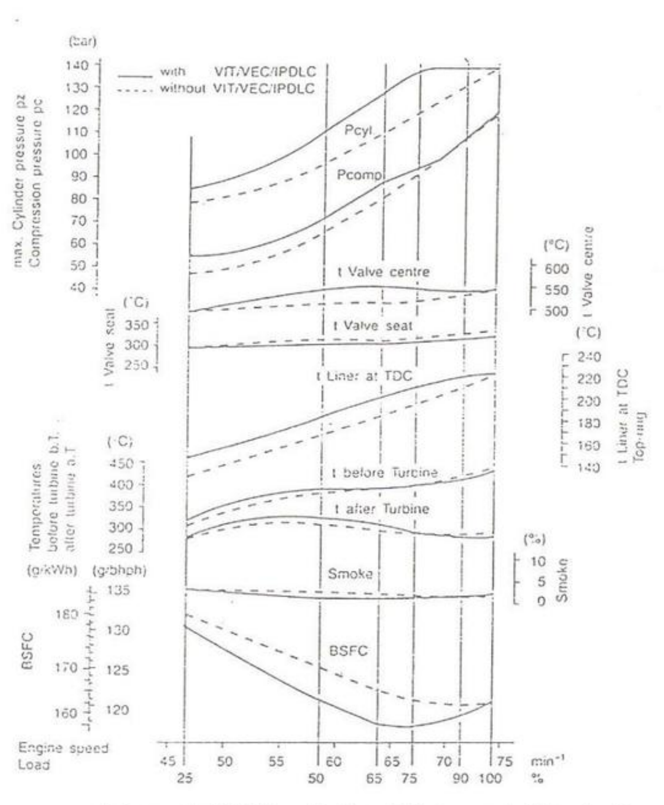
RTA84T engine exhaust valve actuating arrangement with variable closing (VEC) system

شكل (١٧ – ١١)

أما بالنسبة لنوعية الوقود ، فيتم تغيير زاوية الحقن بما يتناسب مع نوعيــة الوقــود المستخدم ، فإذا كانت نوعية الوقود منخفضة ، فتزداد زاوية الحقن بواسطة الأداة F.Q.S التى تتضمنها منظومة .V.I.T .

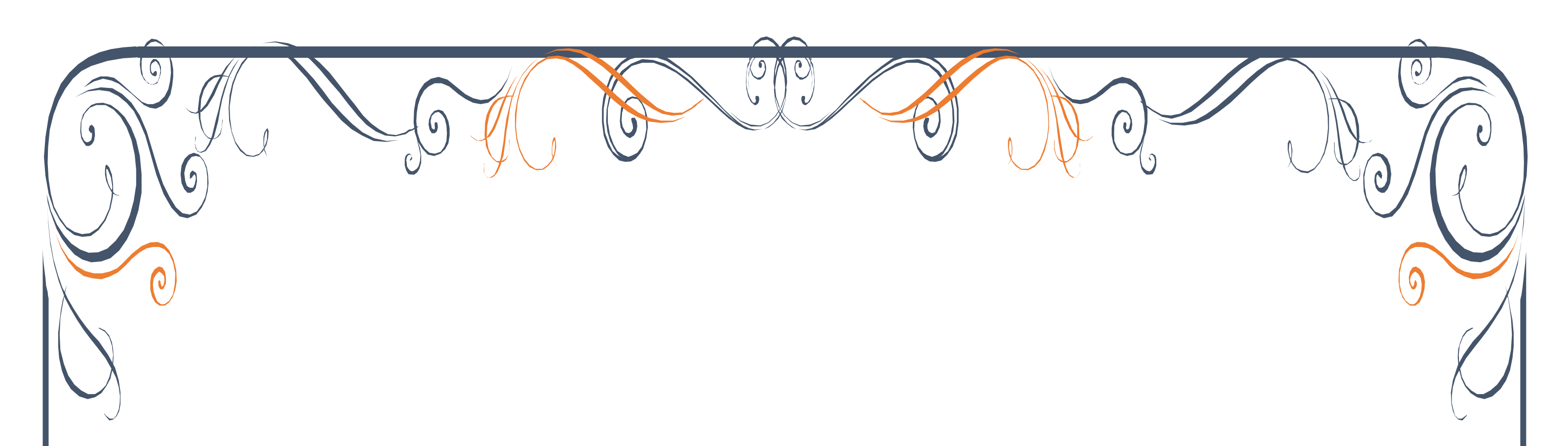
جميع وسائل التحكم .V.I.T – V.E.C. – F.Q.S تعمل حالياً الكترونياً من منظومة التحكم فى المحرك نفسه .





Influence of the VIT/VEC combination (solid line) compared with results without VIT/VEC (dashed line) on the performance characteristics of a 7RTA84T engine. The engine has an R1 rating of 27 160 kW at 74 rev/min and exploits an exhaust gas power turbine

شكل (١٧ – ١٢)

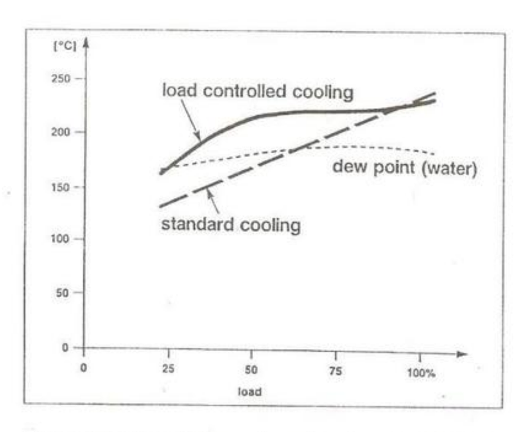


١٧ – ٣ – ٣ : تبريد الاسطوانات طبقاً للحمل

Load-dependent cylinder liner cooling

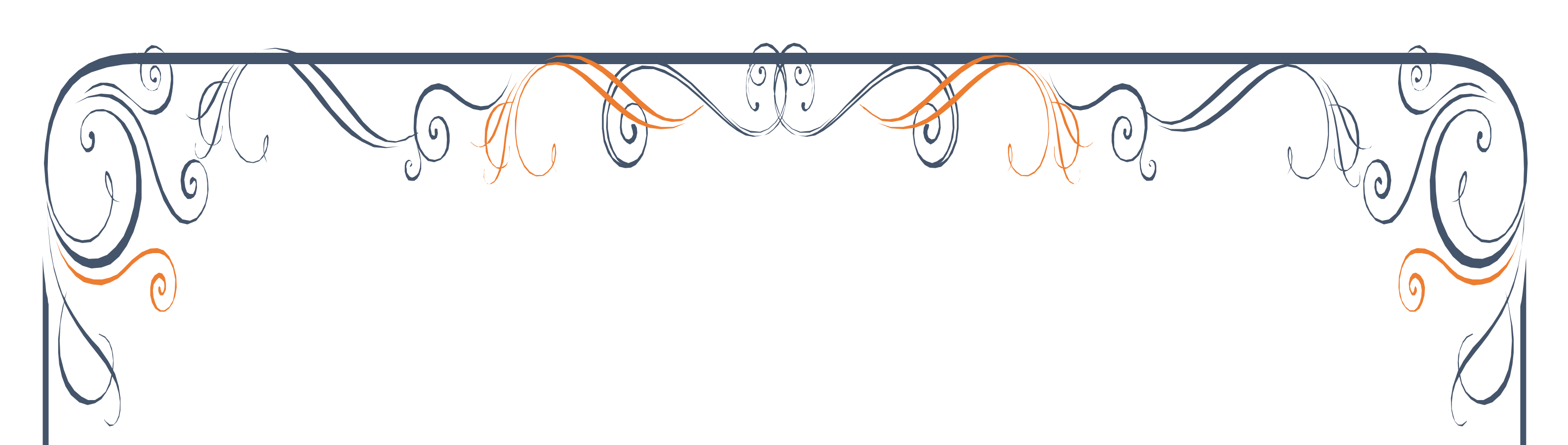
لتجنب حدوث التآكل الكيميائى بالنسبة لقميص الاسطوانة ، ولتحسين أداء المكبس على مدى جميع الأحمال للمحرك ، فإنه يجب مراعاة عدم انخفاض درجة حرارة مياة التبريد عن نقطة الندى Dew-point عند جميع الأحمال . وقد تم التوصل إلى ذلك بتقسيم خط إمداد مياة التبريد إلى فرعين : –

فرع لتبريد القميص ، ويوجد عليه صمام يتحكم في كمية المياة طبقاً للحمل الواقع على المحرك ، بينما الفرع الآخر يوجه لتبريد رأس الاسطوانة مباشرة ، وبهذه الطريقة تم الاحتفاظ دائماً بدرجة حرارة سطح القميص لتكون أعلى من نقطة الندى بالرغم من التشغيل على ٥٠%حمل كما يتضح من الشكل (١٧–١٣) .



Temperature of the cylinder running surface throughout the load range showing the benefit of load-controlled cooling in keeping the liner temperature above the dew point (water)

شكل (١٧ – ١٣)



وأخيراً يمكن ايجاز المزايا المتوفرة فى المحرك سولزر RTA-84M فى التالى :

- الوفر فى استهلاك الوقود والزيوت عند التشغيل على الأحمال المختلفة .
- اعتماد تبريد وتزييت الاسطوانات على الحمل .
- إمكانية حرق نوعيات مختلفة من الوقود منخفض الجودة .
- المتانة العالية وسهولة أعمال الصيانة وزيادة الفترة بينها .
- الانتاجية بقدرات متنوعة لتلبية احتياجات السوق .
- مطابقة مواصفات العادم لمتطلبات المنظمة البحرية الدولية I.M.O لتقليل أكاسيد النتروجين(NO_x)

١٧ ــ ٣ ــ ٤ : استعادة الحرارة المفقودة Waste-heat recovery

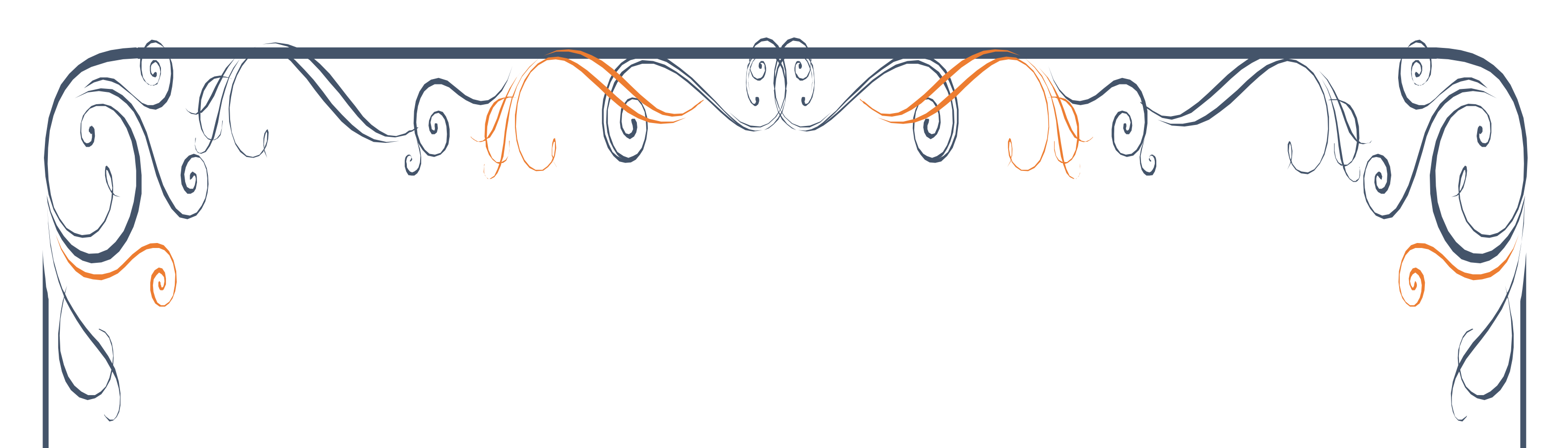
لقد أثبتت الشواحن التوربينيه الغير مبردة أهميتها فى الحفاظ على الطاقة ، حيث لا تسمح بالفقد الحرارى المصاحب لمياة التبريد ، وعليه فإنها ترفع الكفاءة الحرارية لمحطة الديزل ككل ، بالإضافة فإن الشركات الصانعه للشواحن التوربينيه قامت بعمل تطويرات عديدة أدت إلى :

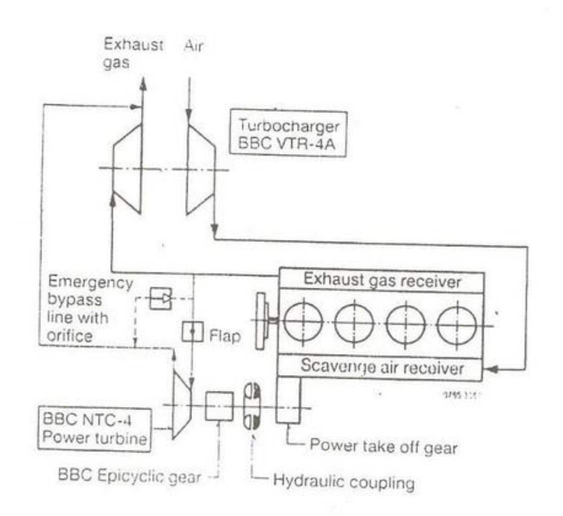
- رفع كفاءة الشاحن لأعلى من ٧٥% .
- رفع نسبة الضغط لأعلى من ٤ : ١ .
- السرعة المحيطية للمروحه Impeller تعدت ٥٠٠ م / ث .
- تحسين الكفاءة الحرارية للمحرك الديزل بمقدار ١٠% .

وبناء على ذلك أصبحت غازات العادم الخارجة من المحرك زائدة عن ما يحتاجه الشاحن التوربينى الحديث ، وعليه تم توجيه جزء من العادم لتشغيل توربينة القدرة Power-turbine . ويوجد حالياً العديد من المحطات المزودة بها ، وتتواجد بنظامين :

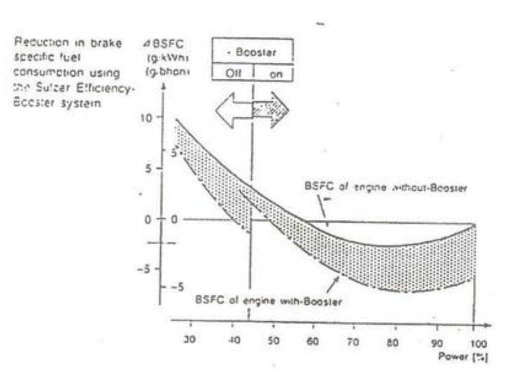
١. إنتاج قدرة دافعة إضافية لعمود المرفق بواسطة استخدام Power take-in gearing.
٢. إدارة مولد كهربى من خلال مجموعة تروس .

والشكل (١٧ ــ ١٤ أ) لمنظومة Sulzer's efficiency-booster حيث يوجه جزء من عادم المحرك الديزل مباشرة إلى تربينة القدرة Power-turbine ، والتى تعطى الحركة مباشرة لعمود مرفق المحرك بواسطة ترس Power take-off gear عن طريق قارنة هيدروليكية Coupling وترس خاص BBC Epicylic. وقد أعطت وفراً فى الوقود يصل إلى ٤,٥ جم/كيلووات.ساعه ، وعليه وصلت الكفاءة الحرارية للمحرك ٥٤% .





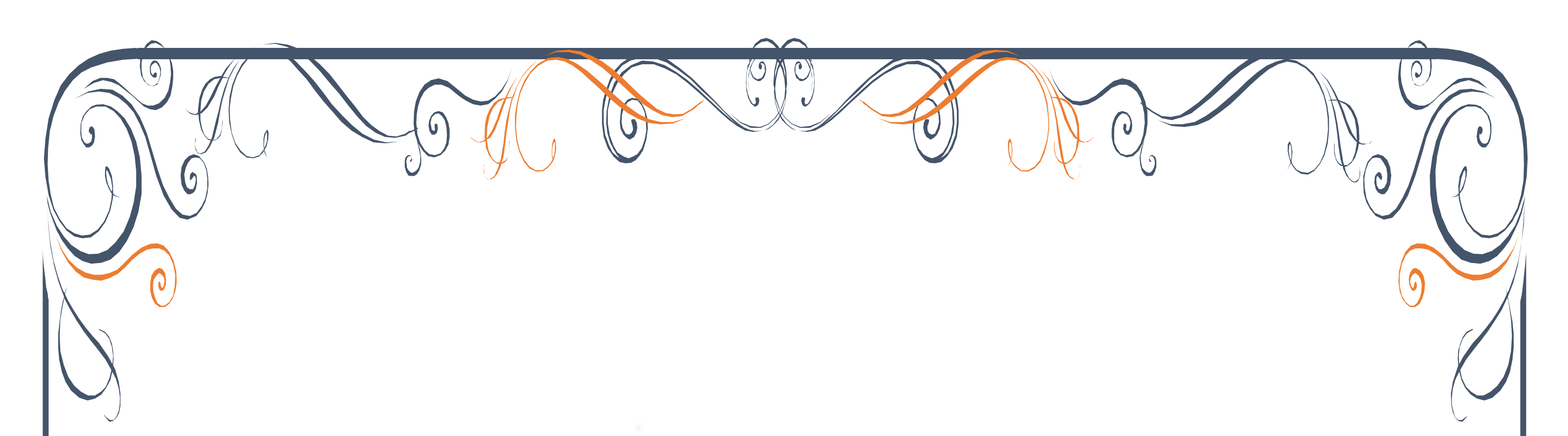
Exhaust gas
Air
Turbocharger BBC VTR-4A
Exhaust gas receiver
Emergency bypass line with orifice
Flap
Scavenge air receiver
BBC NTC-4 Power turbine
Power take off gear
BBC Epicyclic gear
Hydraulic coupling



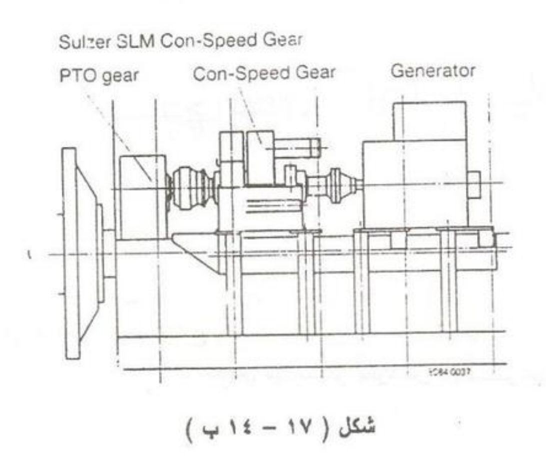
Reduction in brake specific fuel consumption using the Sulzer Efficiency-Booster system
ΔBSFC (g/kWh) (g/bhph)
Booster
Off
on
BSFC of engine without-Booster
BSFC of engine with-Booster
Power [%]

شكل (١٧ ــ ١٤ أ)


نسألكم من صالح الدعاء

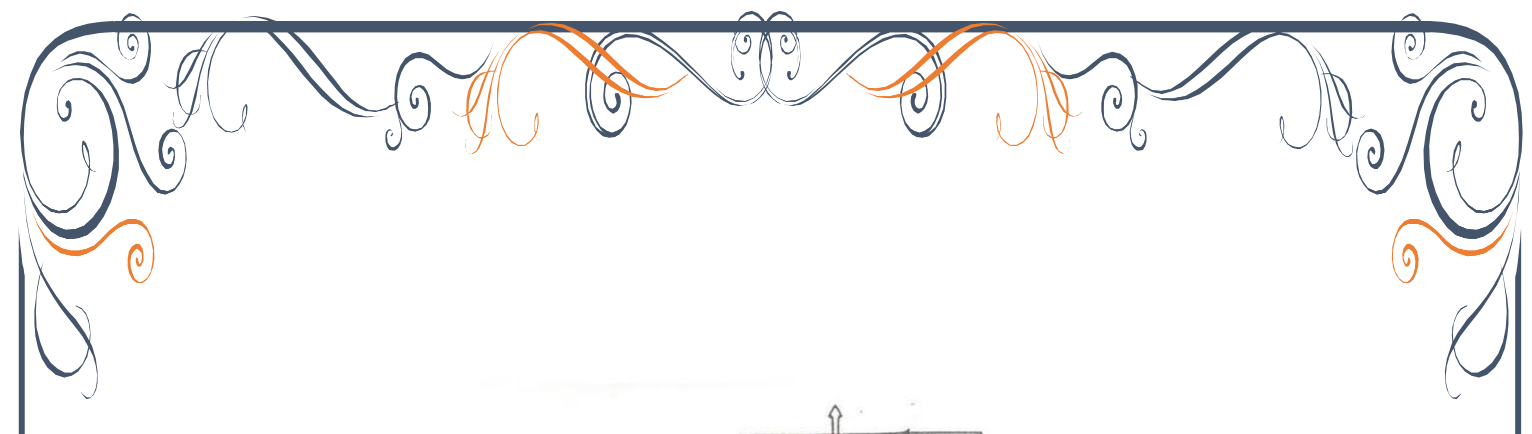


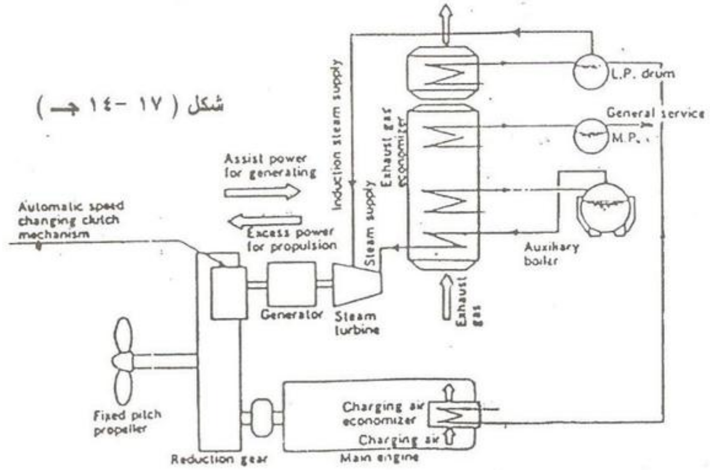
أما الشكل (١٧ – ١٤ ب) فهو يوضح إمكانية إدارة مولد كهربى من المحرك الديزل الرئيسى (P.T.O) Power-take off ويتم ذلك بواسطة ترس خاص Controlled-speed gear ، حيث يحول السرعة المتغيرة للمحرك الرئيسى إلى سرعة ثابتة للمولد . وبهذا النظام أمكن توليد الكهرباء المطلوبة أثناء سير السفينة ، دون الاحتياج لمولد مستقل ، مما يؤدى إلى الوفر فى استهلاك الوقود والزيوت والصيانة وقطع الغيار لمولد مستقل .



شكل (١٧ – ١٤ ب)

وعلاوة على ماسبق يمكن استعادة الحرارة المفقودة بالعادم والمبردات كما فى شكل (١٧ – ١٤ جـ) حيث يتم استخدام العادم لتوليد البخار لتشغيل مولد توربينى لتوليد الكهرباء ، هذا بالإضافة إلى إمكانية الحصول على المياة الساخنة المطلوبة للسفينة من مبردات هواء الشحن ذو الثلاث مراحل ، وليكن معلوماً أن الكهرباء المتولدة تكون كافية لتغطية الاحتياجات الكلية للسفينة أ ثناء الإبحار إذا كانت قدرة المحرك تزيد عن ١٠,٠٠٠ كيلووات .





شكل (١٧ – ١٤ جـ)

١٧ - ٤ محـــــركات الديزل MAN-B&W

لقد سيطرت محركات الديزل بطيئة السرعة إنتــاج MAN-B&W علـى ٦٥% مــن احتياجات السوق العالمى ، وتم الإنتاج بقدرات تبدأ من ١٥٠٠ كيلووات إلــى أكثــر مــن ٦٥,٠٠٠٠ كيلووات ، وجميعها ذات اتصال مباشـــر بالرفاص وبســـرعات تبدأ مــن ٦٠ لفة/دقيقة إلى ٢٥٠لفة/دقيقة .

وعليه بدأ دخول محركات الديزل L.MC عام ١٩٩٨ بأقطــار مختلفــة . ولمــا كــان الاهتمام بالحصول على القدرات العالية التى تتطلبها سفن الحاويات الضخمة ، فتم إنتــاج المحرك الــديزل K 90 MC-C بقـــدرة ٥٤,٨٤٠ كيلـــووات ، وبعـــدها ظهـــر المحـــرك K98MC-C بقدرة ٦٨,٥٢٠ كيلووات .

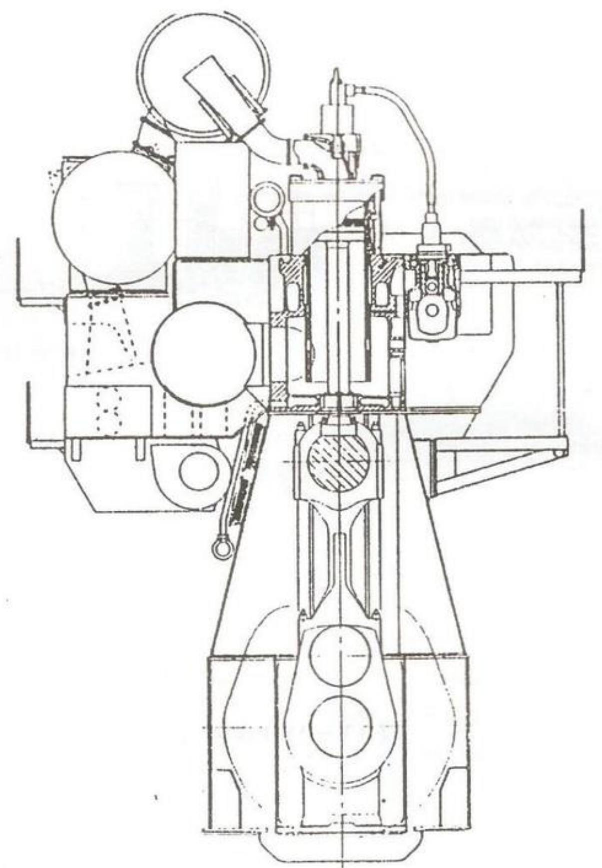
<u>والشكل (١٧ – ١٥) لمحرك MAN-B&W K 90 MC بالمواصفات التالية :</u>

القطر ٩٠٠ مم ، المشوار ٢٣٠٠ مـــم ، الســـرعة ١٠٤ لفـــة / دقيقـــة ، عـــدد الاسطوانات من ٦-١٢ اسطوانه ، السرعة المتوسطة للمكـــبس ٨ متـــر/ثانيـــة ، الضغط المتوسط الفعال ١٨ بار .

<u>المعدل النوعى استهلاك الوقود :</u>

١٦٦ جم/ك.وات . ساعة عند الحمل الكلــى ، ١٥٩ جـــم / ك.وات.ســـاعة عنـــد السرعة الاقتصادية .



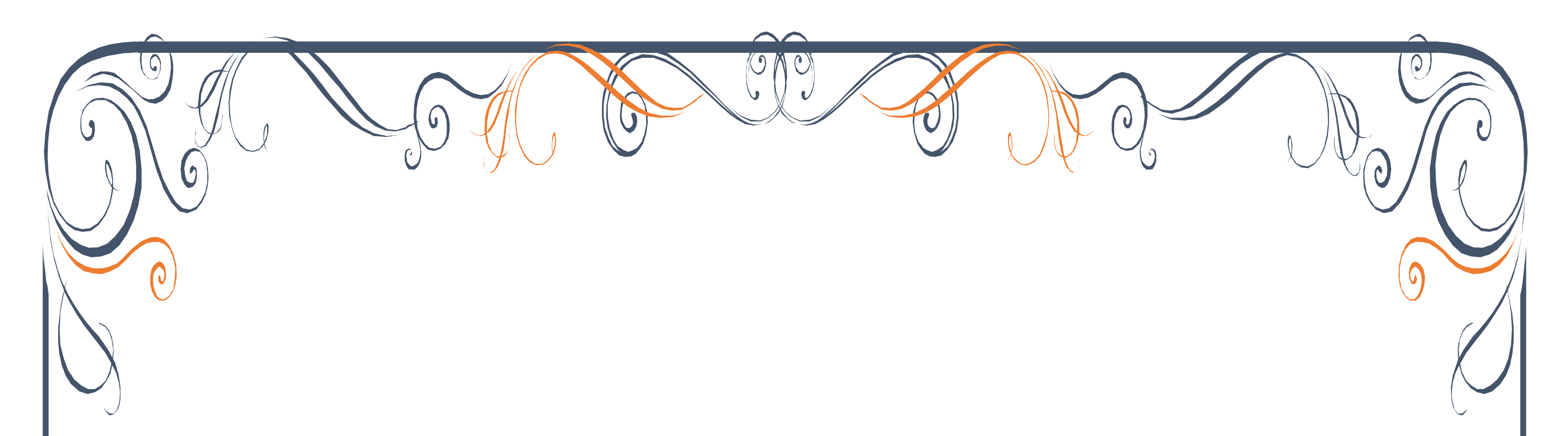


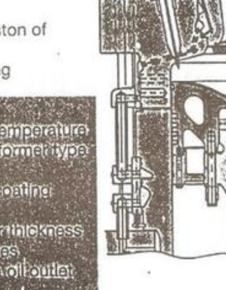
MAN—B & W K90 MC—C engine

شكل (١٧ ـ ١٥)

<u>وتميزت ببعض التعديلات مثل :</u>

تغيير شكل غرفة الاحتراق بـ Oros-combustion chamber بما يركز هواء الاحتراق حول الفوانى ، كما يزيد المسافة بين الفوانى وسطح المكبس بما يقلل الإجهاد الحرارى على سطح المكبس. شكل (١٧ – ١٦) .

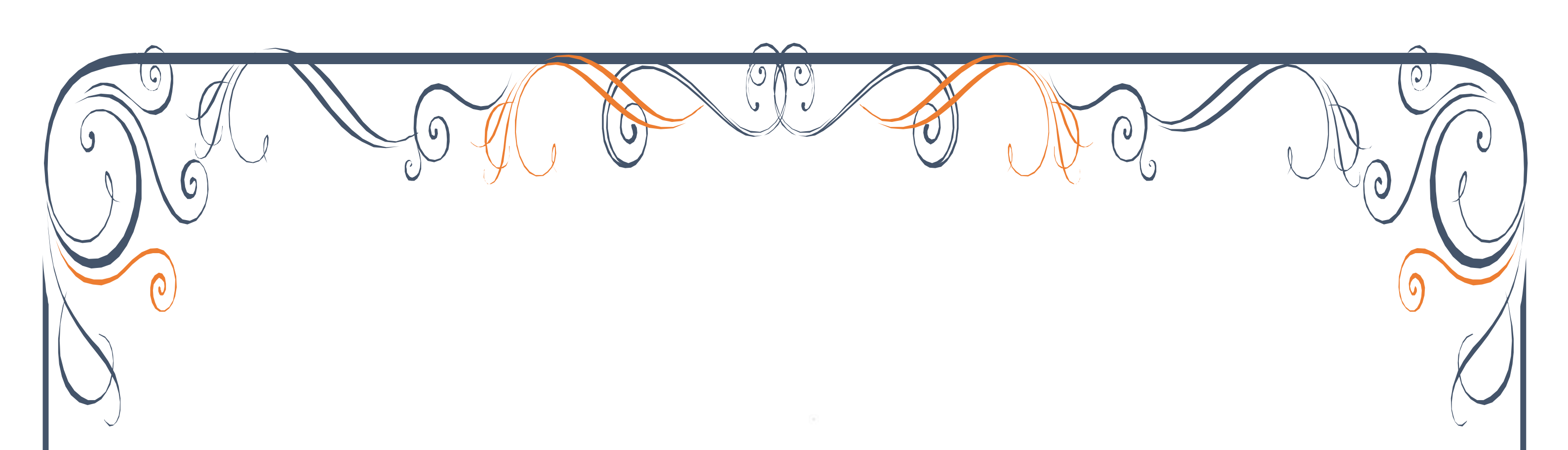




شكل (١٧ – ١٦)

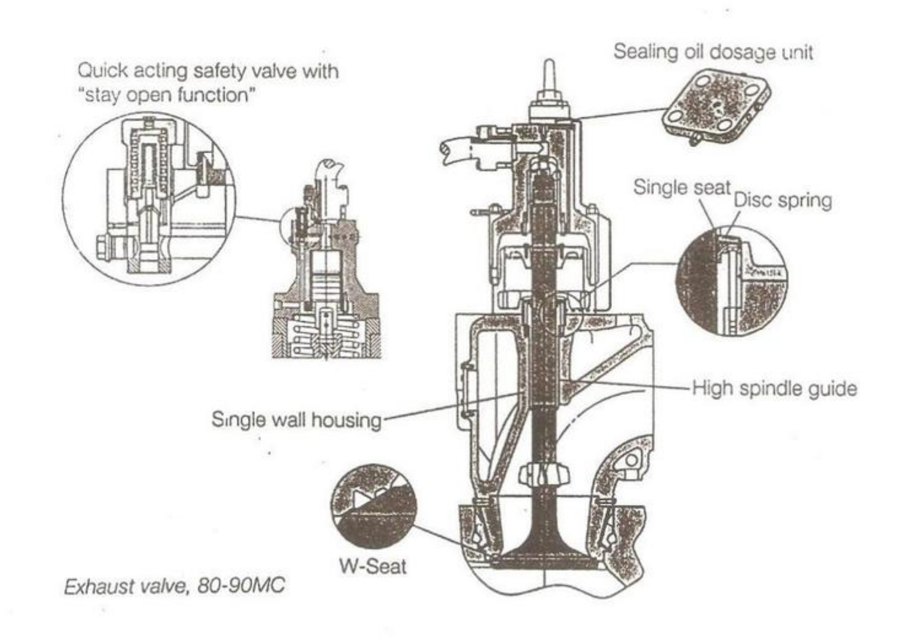
وتصنع المكابس من الصلب المقاوم للحرارة والمزودة بالتبريد بالثقوب bore-cooling ، وتم إبعاد الشنبر الأول عن سطح التاج وتزويد المكبس بشنبر تنظيف ليمنع تجميع أى ترسيبات وتغطية سطح الشنابر بطبقة خاصة Alu-coat .

أما تزييت القميص فيتم باستخدام الكومبيوتر – وهى طريقة حديثة تعرف بـ Alpha-adaptive cylinder-oil control Alpha (A.C.C) – حيث تتناسب كمية الزيت التى تحقن لتزييت الاسطوانه على مقدار الحمل ، وقد أدى ذلك إلى تقليل معدل استهلاك زيت التزييت إلى ٠,٥ جم / حصان.ساعة ، بالإضافة إلى تقليل البرى إلى ٠,٠٥ مم / ١٠٠٠ ساعة تشغيل ، وهذا يعتبر شئ فى غاية الأهمية لكل من مهندس التشغيل والمالك .



أما صمامات العادم شكل (١٧ – ١٧) فتصنع الأعمدة من معدن Nimonic ، وبالتصميم الأمثل للتبريد الجيد للحفاظ على درجة الحرارة المناسبة ، وبذلك قل التآكل الكيميائى فى جسم الصمام بدرجة كبيرة .

وتصنع مقاعد الصمامات من نوع خاص من الصلب المقسى Semi-cooled hardened steel وبشكل خاص W-shape كما فى الشكل وذلك لزيادة فترة الأداء الجيد .



شكل (١٧ – ١٧)

– منظومة حقن الوقود : روعى فى تصميم هذه المنظومة تحقيق الآتى :

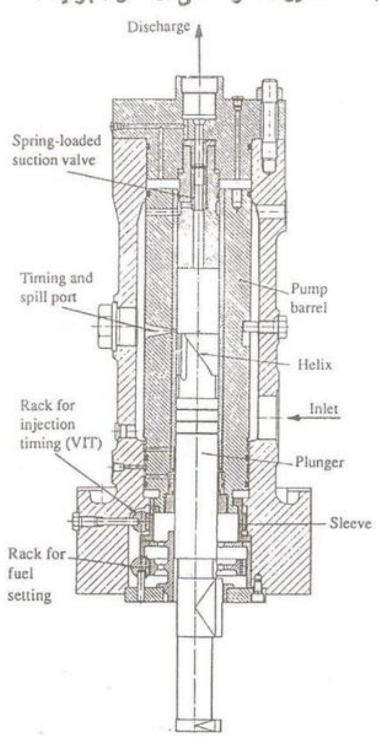
أ – تقليل م.ن.أ.و. .

ب – إمكانية التشغيل بالوقود ذات الجودة المنخفضة .



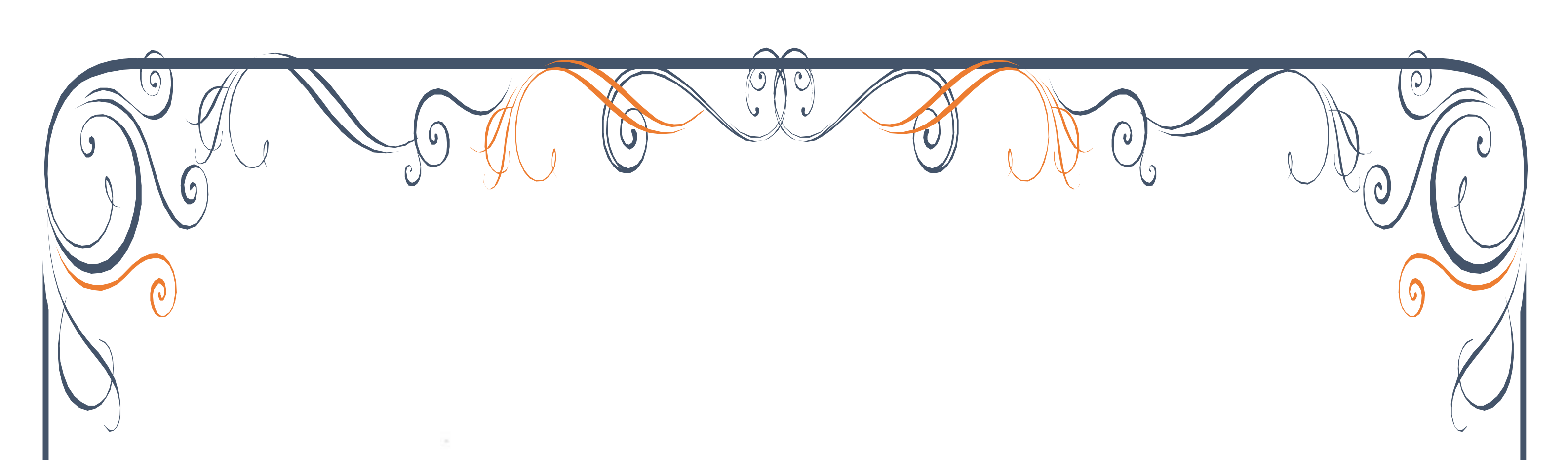
ويتم بدء التشغيل والتوقف وعمل المناورة على نفس الوقود الثقيل ، وتصنع فواتى هذه الحواقن من معدن الستليت ، الذى يتميز بمقاومته العالية للتآكل مما يطيل عمر الصمام بالرغم من استخدام الوقود ذات الجودة المنخفضة .

باستخدام طلمبات الحقن العادية ، يكون الاحتراق غير جيد عند التشغيل على الحمل الجزئى ، فإذا كان المحرك يعمل على الأحمال الجزئية لفترات طويلة فيفضل من الناحية الاقتصادية استخدام الطلمبات المزودة بآلية الحقن المتغير (V.I.T.) التى تحقق الاستهلاك الاقتصادى والأمثل عند تشغيل المحرك على الأحمال الجزئية .



MAN—B & W fuel pump with variable ignition timing

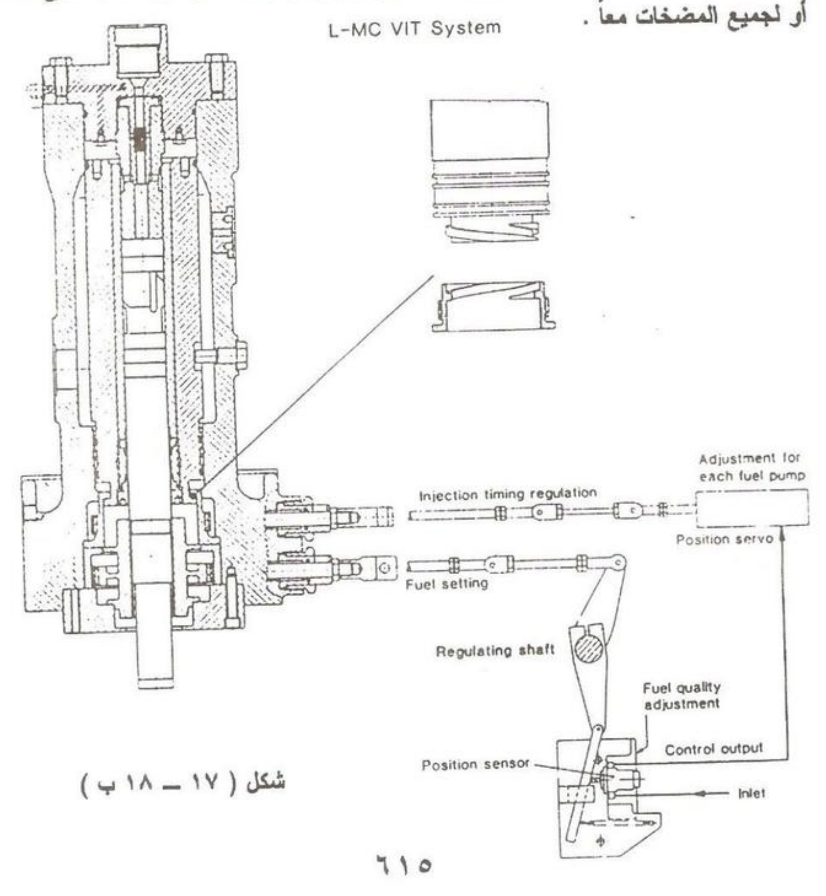
شكل (١٧ ــ ١٨ أ)



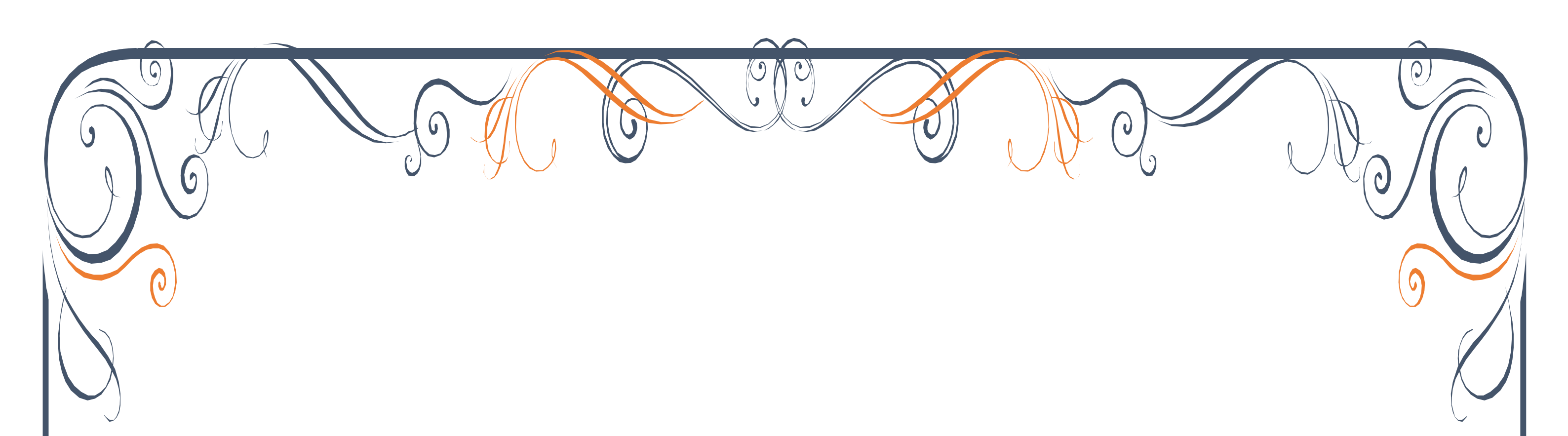
١٧ ــ ٤ ــ ١ : نظام تغيير توقيت الحقن Variable injection timing

الشكل (١٧ ــ ١٨ــ أ) يوضح مقطع فى مضخة الوقود للمحرك MAN-B&W MC ويعمل على نفس نظرية التحكم بالحلزون المقطوع بأعلى الكباس ، ولكن توجد وسيلة إضافية لتنظيم توقيت الحقن طبقاً للحمل . ويكون ذلك برفع أو خفض البرميل مع تمرير الوقود الساخن بينهما فى الفترة التى لا يكون فيها حقن ، بواسطة جريدة مسننة أخرى second rack معشقة مع ترس ذو أسنان واسعة موجود بأسفل البرميل . حركة البرميل ستؤدى إلى تغيير توقيت بداية الحقن طبقاً للحاجة ، ويمكن تقديمه عند استخدام الوقود ذو الجودة المنخفضة .

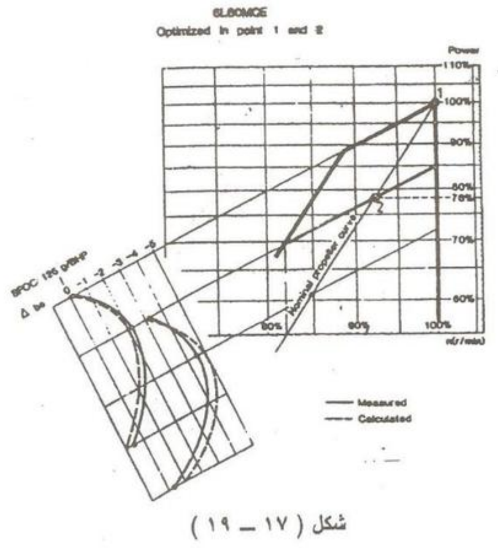
أما الشكل (١٧ ــ ١٨ ــ ب) فيوضح ذراعى التحكم طبقاً للحمل ونوع الوقود . ويسمح ذراع تغيير توقيت الحقن المتصل بالمنظم بتغيير توقيت الحقن لكل مضخة على حده أو لجميع المضخات معاً .



شكل (١٧ ــ ١٨ ب)



وأيضاً يتم عمل ضبط آخر ليطابق نوعية الوقود المستخدم ، وبذلك يمكن التوصل إلى أفضل أداء مع تقليل م.ن.أ.و. ويمكن توضيح ذلك بالرجوع إلى الشكل (١٧ ـ ١٩) حيث يلاحظ أن م.ن.أ.و. عند النقطة (1) وهى .M.C.R تقدر بـ ١٢٥ جم / حصان.ساعه . أما عند النقطة (2) وهى .E.C.R تمثل الأداء الاقتصادى وعندها يقل م.ن.أ.و. بحوالى ٣ جم .

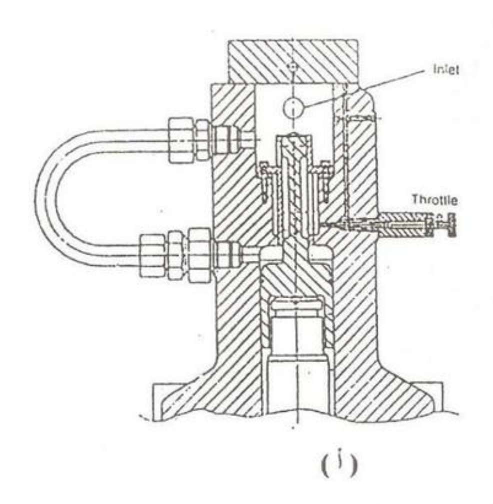


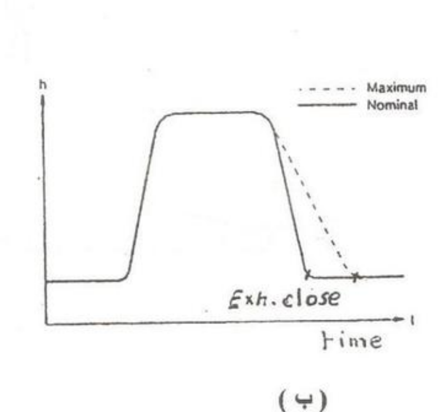
شكل (١٧ ـ ١٩)

١٧ ـ ٤ ـ ٢ : التحكم فى نسبة الانضغاط V.C.R

بالإضافة إلى ما تم توضيحه بخصوص V.I.T للمحركات الديزل M.A.N-B&W أدخلت وسيلة التحكم فى نسبة الانضغاط Variable compression ratio عن طريق تأخير توقيت غلق صمام العادم (V.E.C) أى تقليل نسبة الانضغاط بغرض الاحتفاظ بضغط الانضغاط ثابتاً عند الأحمال العلوية من ٨٥% إلى ١٠٠% حمل . وبالتالى يمكن الحفاظ على ثبوت ضغط الاحتراق المسموح به لهذا المحرك . والشكل (١٧ - ٢٠) يوضح ذلك .







(أ) (ب)

شكل (١٧ ــ ٢٠)

أ) يمثل الوسيلة الهيدروليكية لفتح الصمام ، ويتأتى التأخير بحبس الزيت فى الغرفة السفلية ، ويتم غلق الصمام بفتح صمام الإبرة والذى يتحكم فيه الحمل .

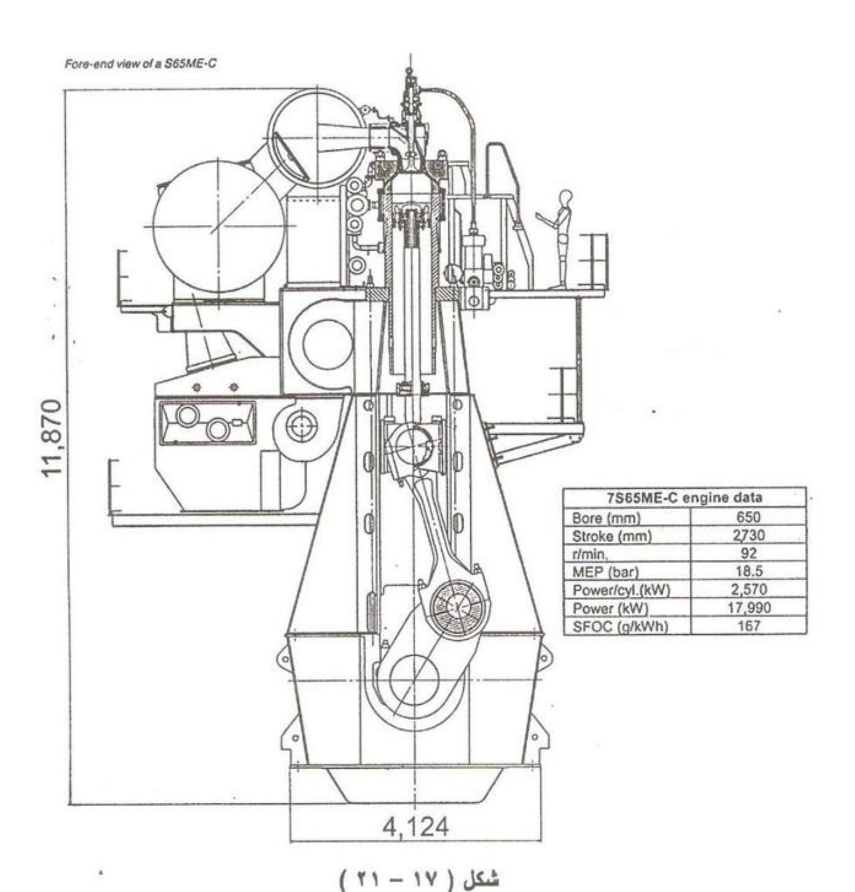
ب) يوضح منحنى فتح وغلق صمام العادم ، فيمثل الخط الكامل بداية ونهاية فتح صمام العادم بواسطة الكامة ، أما الخط المنقط فيمثل التأخير فى توقيت غلق الصمام .

١٧ – ٤ – ٣ المحرك الديزل ME :

لقد أدخلت الشركه تحسينات عديدة على المحركL–MC وحققتها فى المحرك الديزل ME وذلك بالتغيير إلى التحكم الإلكترونى المتكامل وبدون أعمدة الكامات ،فيعتبر هو أحدث ما توصلت إليه التطويرات التقنية . وهو يتيح التحكم الأمثل فى توقيت حقن الوقود ومعدل الحقن وتوقيت صمامات العادم ، وصمامات بدء الحركة وتزييت الاسطوانات ، مما أدى إلى تحسين الأداء واقتصاديات استهلاك الوقود والزيوت .

والشكل (١٧ – ٢١) يوضح مقطع رأسى فى المحرك S 65 ME-C .



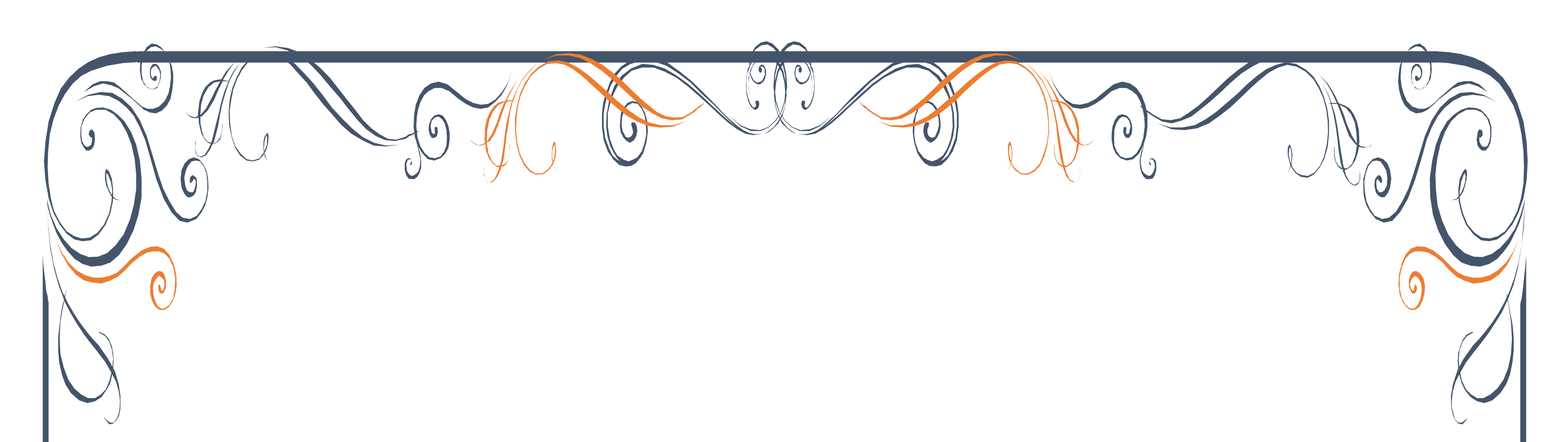


7S65ME-C engine data	
Bore (mm)	650
Stroke (mm)	2730
r/min.	92
MEP (bar)	18.5
Power/cyl.(kW)	2,570
Power (kW)	17,990
SFOC (g/kWh)	167

شكل (١٧ – ٢١)

وعليه تحسنت اقتصاديات التشغيل عند الأحمال المختلفة ، بتقليل المعدل النوعى لاستهلاك الوقود (م.ن.أ.و.) وزيت تزييت الاسطوانات بالإضافة إلى تحسين خصائص انبعاث العادم ونسبة أكاسيد النتروجين NO_x ، التكيف مع نوعيات الوقود المختلفة .

ويتضمن التحكم فى جميع الآليات : صمامات بدء الحركة ، بدء وعكس الحركة ، المنظم ، صمامات العادم ، حقن الوقود ، زيت تزييت الاسطوانات ، مروحة الهواء المساعدة .

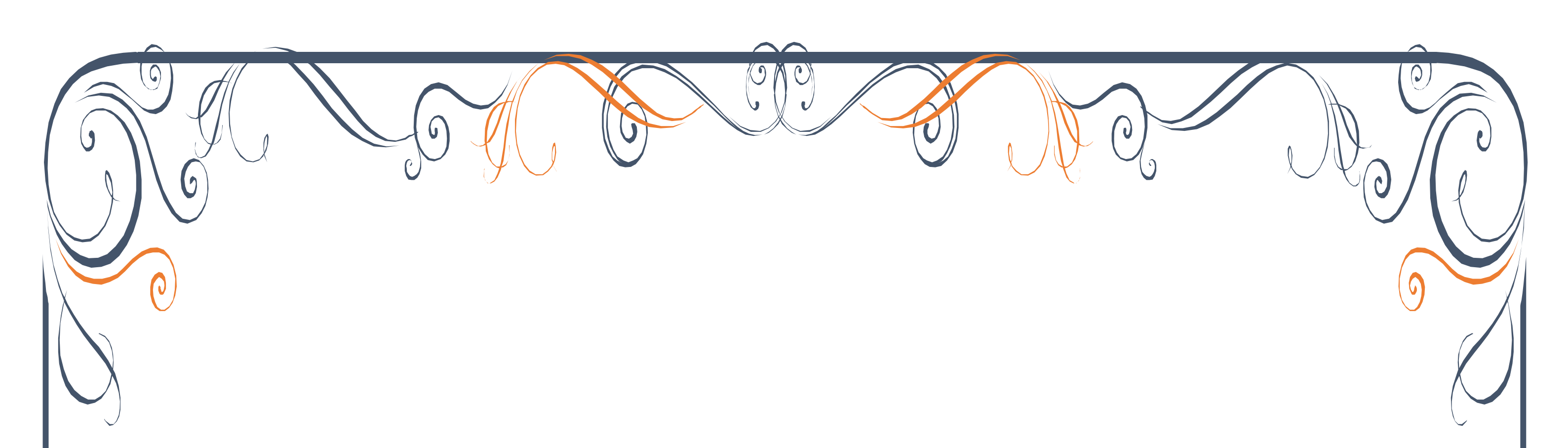


<u>المزايا التى يتضمنها المحرك</u> M.E.C :

- الأداء الأمثل وأقل معدل نوعى لاستهلاك الوقود والزيوت (م.ن.أ.و.) بفضل التحكم الالكترونى فى توقيت الحقن وفتح صمامات العادم .
- تحسين خصائص انبعاث العادم مثل أكاسيد النتروجين NO_x وبدون دخان .
- الاتزان الأفضل والإجهاد الحرارى المتساوى على الوحدات .
- سهولة مراقبة الأداء وتشخيص الحالة المستمر ، بغرض زيادة مدة الصلاحية .
- تحسين الأداء عند السرعات المنخفضة .
- عجلة أفضل فى عكس الحركة أو الإيقاف المفاجئ .

ويمكن مقارنة خصائص المحرك ME-C مع المحرك MC-C بالاستعانة بالشكل (١٧-٢٢) ، وقد تحقق تقليل م.ن.أ.و. عند الحمل الجزئى برفع ضغط الاحتراق على كل مدى التشغيل .

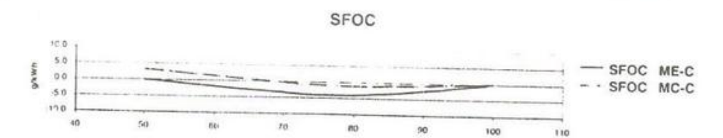
ولكن من الملاحظ أنه بتقليل م.ن.أ.و. يزيد أكسيد النتروجين NO_x ، وعليه فإن منظومة التحكم الالكترونى تتضمن كلا الأسلوبين : اقتصادية الوقود مع تقليل نسبة أكسيد النتروجين NO_x إلى أقل من القيم المحددة بمعرفة المنظمة البحرية الدولية IMO .



Performance Curves
ME-C versus MC-C

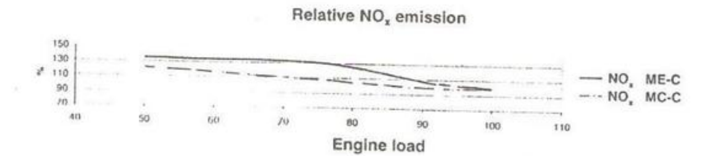
MAN B&W

SFOC



p_{max} and p_{comp}

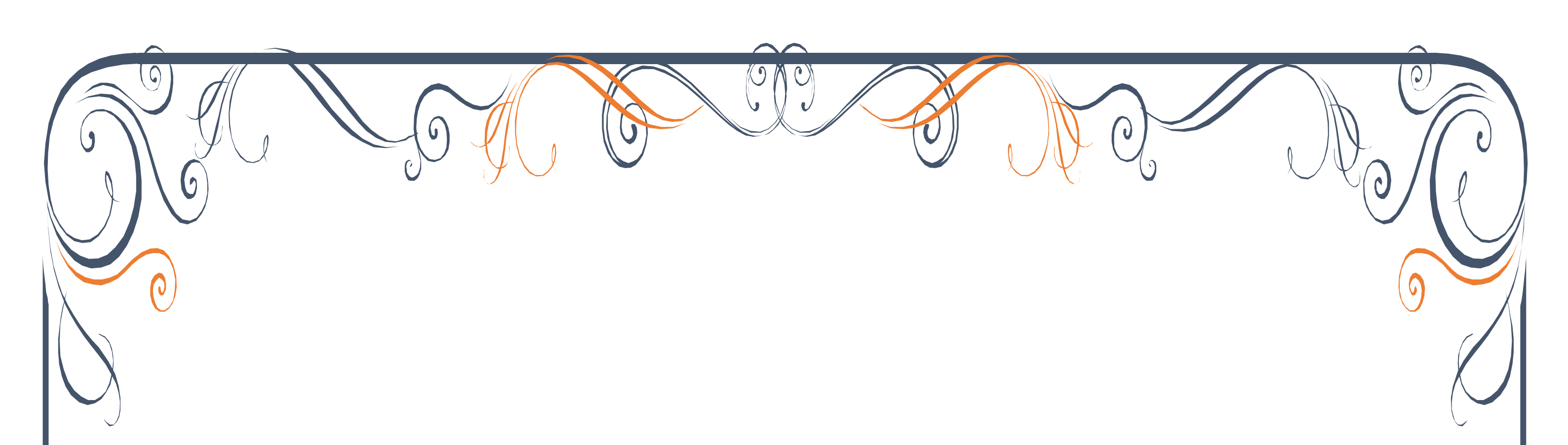
Relative NO_x emission



L/74497-2.2/0903 (2430/NK)

Performance curves, ME-C versus MC-C

شكل (١٧ – ٢٢)



١٧ – ٥ التحكم الالكترونى لحقن الوقود فى محركات الديزل

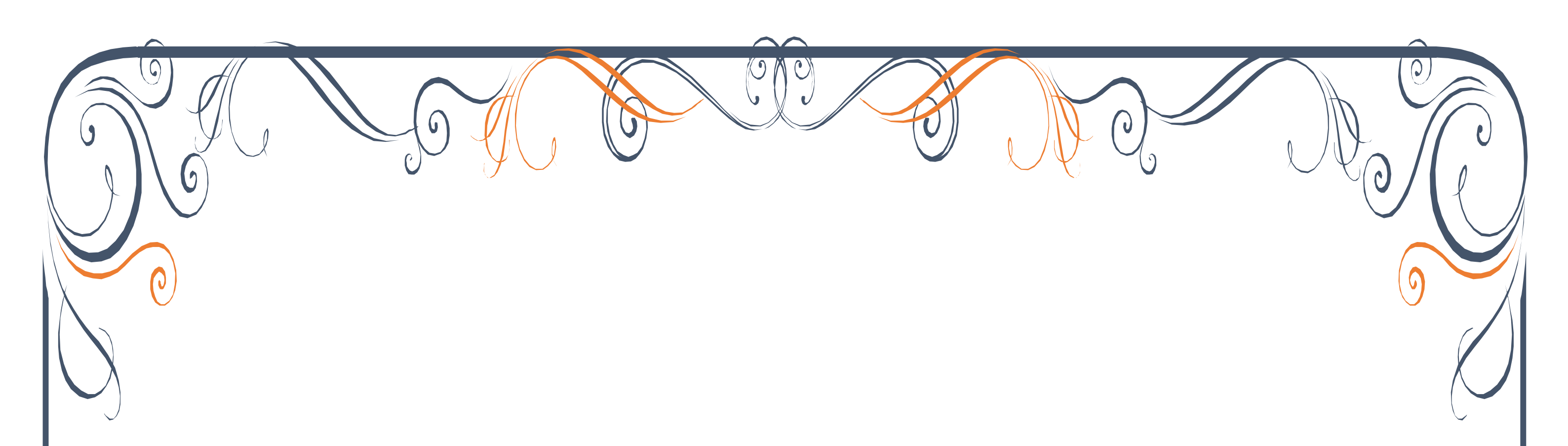
Electronically controlled injection in Diesel Engines

مقدمـــــــــة :

إن الزيادة الهائلة فى أسعار الوقود جعلت القائمون بصناعة محركات الديزل البحريـة يبحثون بدقة بالغة عن جميع الطرق الممكنة لتحقيق الوفر ، وذلك بتقليل معدل اسـتهلاك الوقود ، وبإمكانية حرق أقل أنواع الوقود جودة . ولما كانت خواص الاحتراق تعتمد تماماً على نوع الوقود ، فإن منظومة الحقن العادية أصبحت غير ملائمة بالقدر الكافى لمقابلـة التعديل المستمر عند تغير ظروف التشغيل أو نوع الوقود ، ولهذا فإن إدخال منظومة الحقن الالكترونى يعتبر الحل الأمثل لتحقيق أفضل ظروف التشغيل عند تغير الأحمال أو الأحـوال الجوية أو نوعية الوقود ، ويمكن تلخيص مزايا هذا النظام فى الآتى :

- تحسين الخلط بين الهواء والوقود وكذلك الاحتراق وذلك بالاختيار الأمثل لـــ : بداية الحقن ، منحنى الحقن ، فترة الحقن،عند تغير الحمل على المحرك .
- اختيار الحقن الأمثل إذا تغيرت ظروف التشغيل أو الأحوال الجويـة أو نوعيـة الوقود .
- تبسيط وتقليل أجزاء منظومة الحقن عن المنظومة العادية ، مع ملاءمتها للعديد من محركات الديزل .
- تقليل الاجهادات الواقعة على مكونات منظومة الحقن لضمان سلامة التشغيل .

ولتحقيق ذلك فإنه من الضرورى تطوير نظام الحقن العادى بآخر يجعل ضـغط الحقـن ثابتاً خلف ثقوب الحاقن طوال فترة الحقن ، على أن لا يتأثر الضغط فى المنظومة بتوقيـت الحقن أو كمية الوقود المحقونة . وهذا يمكن تحقيقه باسـتخدام صمام حقـن ذو تحكـم هيدروليكى مع صمام مرشـد الكترونـى – هيـدروليكى ويتصـل بمـتحكم الكترونـى Electronic-controller .



١٧ ـ ٥ ـ ١ : منظومة الحقن الإلكترونى Electronic injection system

كما فى الشكل (١٧ ـ ٢٣) وتتكون أساساً من :

١. وحدة تحكم الكترونية Electronic control unit (A) .

٢. مجموعة رفع ضغط الوقود Fuel pressurizing set وتتكون من:

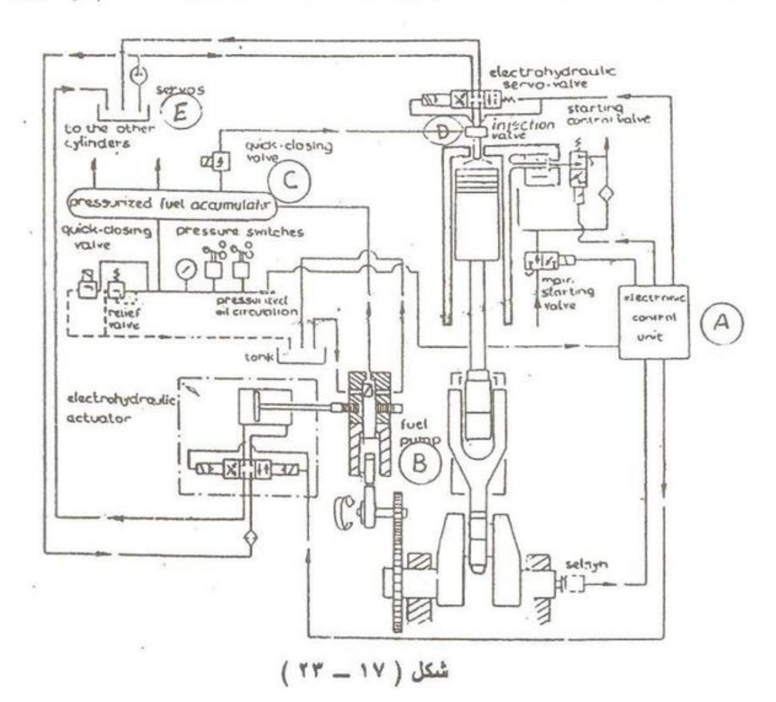
(أ) طلمبة الوقود (B)،

(ب) مجمع الوقود Accumulator بأجهزة التحكم فى الضغط وتصريفه (C)

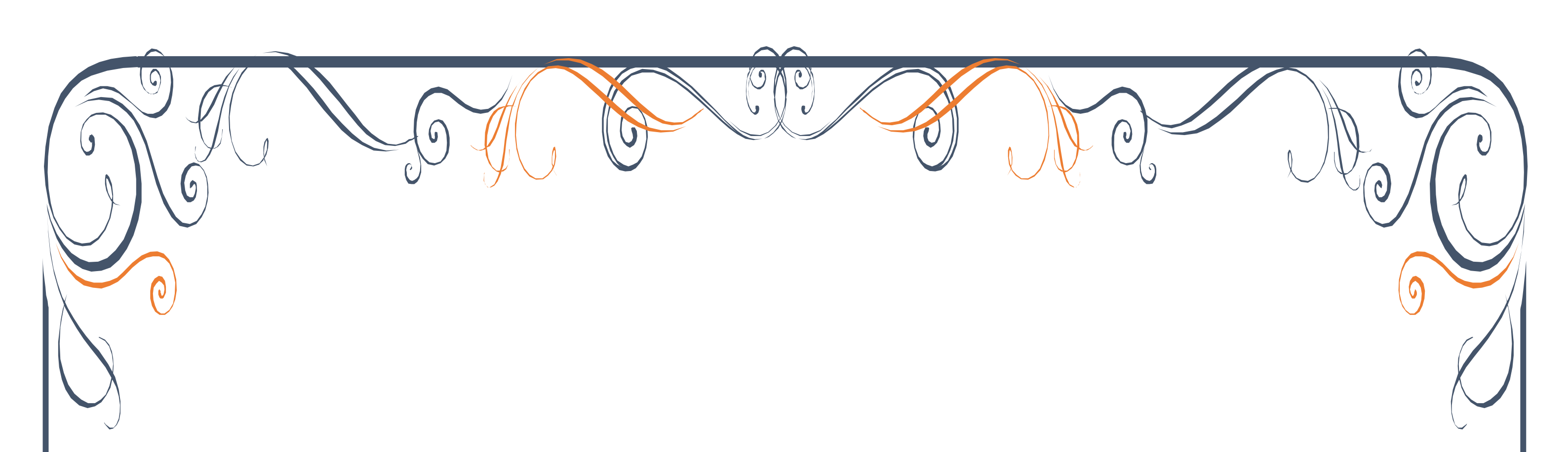
٣. حاقن الوقود ذات التحكم الهيدروليكى Injection valve (D) .

٤. دائرة السيرفو وصماماتها Servo- circuit (E) .

وفيها تقوم الطلمبة بضخ الوقود إلى المجمع حيث يتم التحكم فى ضغط الوقــود طبقــاً لحمل المحرك بواسطة مرسل الضغط والمشغل الهيدروليكى ، ويتم الحقن بواسطة الحــاقن الإلكترونى الذى يتسلم نبضات التحكم فى بداية ونهاية الحقن من وحدة التحكم الإلكترونية .



شكل (١٧ ـ ٢٣)



وأساس وحدة التحكم الإلكترونية هو الحاسب الآلى Micro-computer الـذى يقـوم بتحليل جميع الإشارات القادمة له ويختبر تتابعها ويتولى عمل منظم السرعة ، ثم يعطـى إشارات خارجة لحاقن الوقود وصمامات بدء الحركة ، ويشتمل برنـامج الحاسـب علـى الخواص ومنحنيات الأداء المخزنة فى ذاكرته بطريقة تضمن عدم ضياعها حتى لو انقطـع فرق الجهد المشغل ، وتقوم بأداء الأعمال الآتية :

١. معايرة كمية الوقود المحقونة داخل غرفة الاحتراق .
٢. التحكم فى الضغط الأمثل للوقود عند الأحمـال المختلفـة (والمحـددة مـن الاختبارات السابقة) .
٣. التحكم فى بدء وعكس حركة المحرك .

ويجب ملاحظة أنه لجميع أنواع المحركات وعدد الاسطوانات فإن ضـغط الوقـود فـى المجمع لا يقل عن ٣٠ بار خلال الحقنة الواحدة حتى ولو كان ضغط الحقن ٧٠٠ بار (عند الحمل الكامل) ــ أى أنه يمكن الحصول على ضغط ثابت تقريباً ، كما أن الضـغط يكـون أعلى بقدر كبير (عند الحمل الجزئى) هذا إذا ما قورن بنظام الحقن العادى .

وللتحكم فى ضغط الحقن يتم حسـابه طبقاً للسرعة تبعاً للخصائص المخزنة بالحاسب (حيث أن الضغط المطلوب هو دالة للسرعة المعينة) والمحددة بقياسات سابقة تم إجراؤها على المحرك الديزل ، وقد روعى أن كلاً من خصائص الضغط المطلوبة ومنحنيـات الأداء لبدء الحقن محددة من ناحية التشغيل الاقتصادى ، والمزايا التى يمكن تحقيقها من ذلك هو خفض معدل استهلاك الوقود وخفض فقد العادم وتقليل الاجهادات الحراريـة والميكانيكيـة على الأجزاء .

بدء وعكس الحركة : Starting and reversing

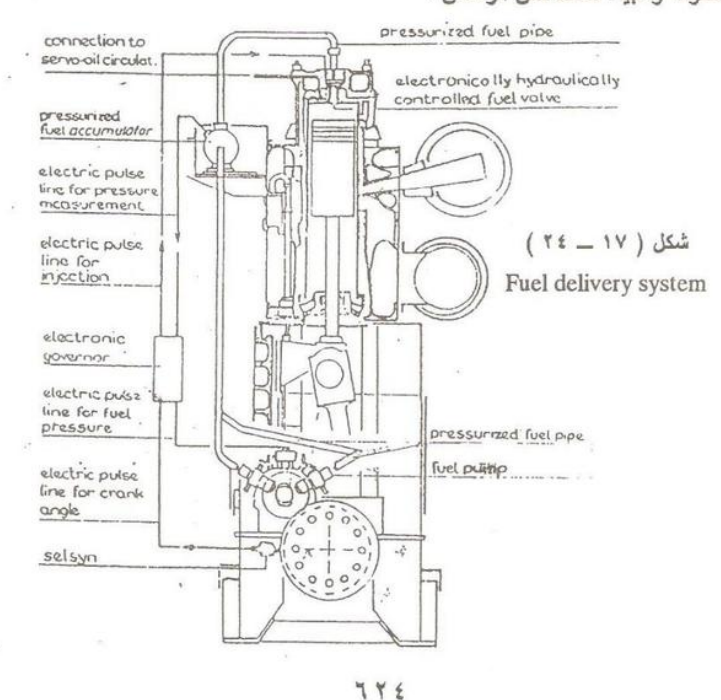
تتم هذه العمليات فى نظام الحقن الإلكترونى بواسطة أجزاء يمكنها تشغيل صمام بـدء الحركة فى الوقت المناسب بواسطة نبضات كهربية فى توقيتات محددة ، والوصـلة بـين صمام بدء الحركة ووحدة التحكم الإلكترونية تشابه الوصلة لصمام السيرفو فى حالة حقن الوقود .

ويتميز هذا النظام بأنه لا توجد فترة تأخير بين بدء الإشارة الكهربية وبدء تنفيذها على

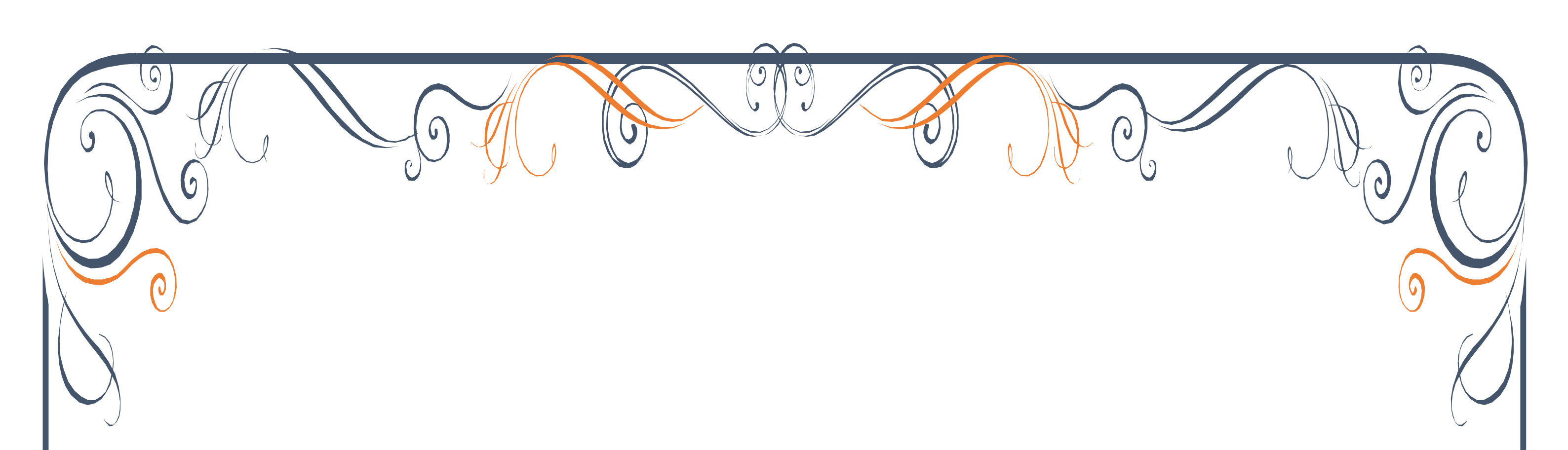


صمام بدء الحركة ، ولذلك لا يوجد فقد فى السريان نتيجة عدم وجود مواسير للهواء .
ولذلك فإن المناورة تكون أكثر دقة وأمان للسفينة .

والشكل (١٧ ــ ٢٤) يوضح نظام الحقن الإلكترونى لمحرك ديزل ثنائى الأشواط ومبيناً عليه أسماء الأجزاء الأساسية . ويتم توليد ضغط الوقود فى هذا النظام بواسطة مضخة حقن تتكون من وحدتين أو أكثر ، ولكل وحدة كباس ينتهى بحلزون يتحكم فى كمية الوقود ويعمل بواسطة عمود يأخذ حركته من عمود المرفق وعليه كامة لها بروزين ، تؤثر الكامة المزدوجة على كل وحدة مرتين عند دوران العمود مرة واحدة . يدخل طرد مضخة الوقود مجمع التراكم حيث يتم التحكم فى ضغطه طبقاً للحمل بواسطة مرسل الضغط ومشغل هيدروليكى ، ويتم الحقن بواسطة الحاقن الالكترونى الذى يتسلم الإشارات لبداية ونهاية الحقن من وحدة التحكم الإلكترونية ، ووظيفة مجمع التراكم تلاشى التغير فى الضغط الناتج عن تأثير طرد كل وحدة من وحدات المضخة وكذلك الحواقن ، وهذا لتعويض كمية الوقود المحقونة وتثبيت ضغط حقن الرشاش .



شكل (١٧ ــ ٢٤)
Fuel delivery system



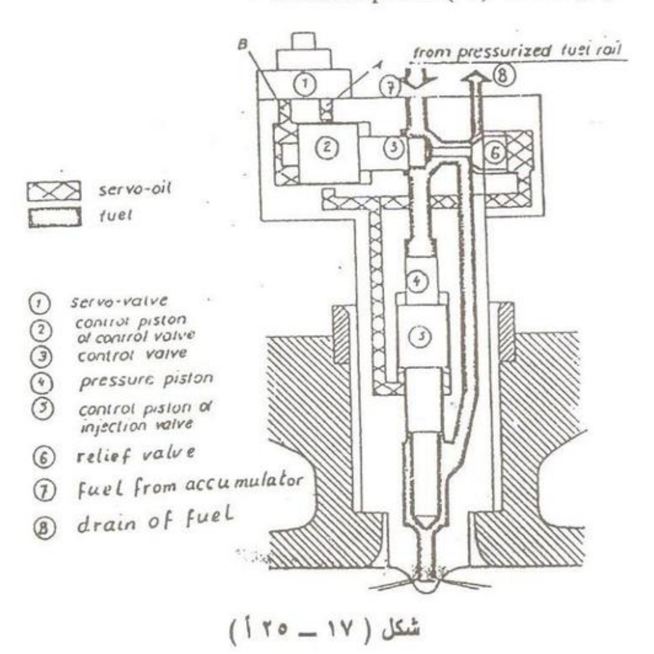
١٧ ــ ٥ ــ ٢ : حاقن الوقود الإلكترونى Electronic fuel valve

يوضح شكل (١٧ ــ ٢٥ أ) رسم تخطيطى لحاقن وقود الكترونــى ، ويتكــون مــن جزئين رئيسيين :

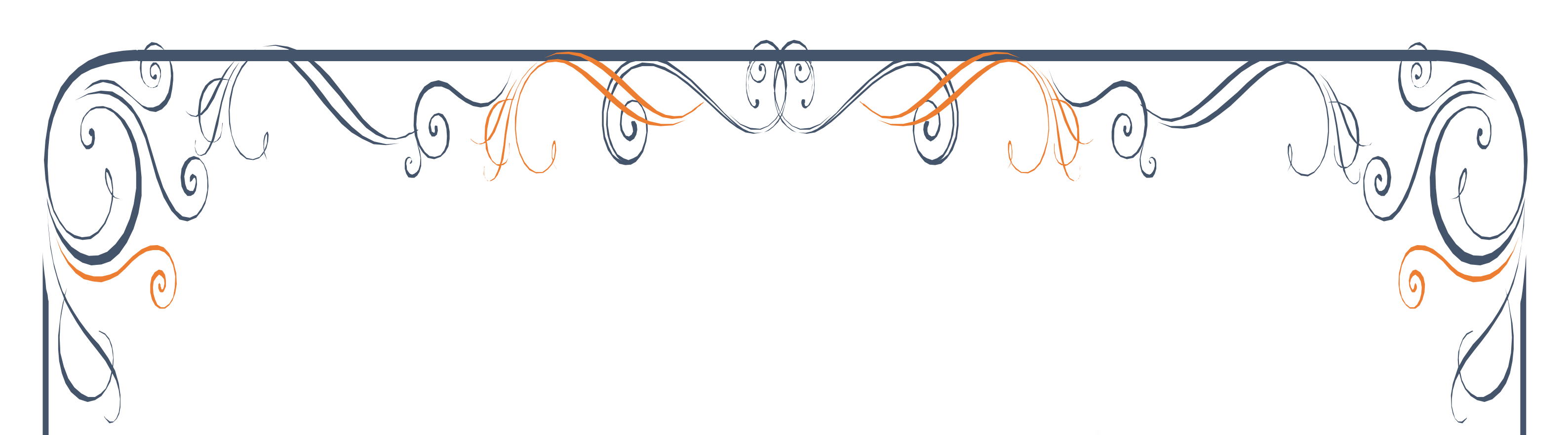
الأول : مفتاح كهربى مع صمام سيرفو Servo-valve متصل بوحدة التحكم الإلكترونية Electronic-- controller عن طريق كابل نبضات الكترونى خاص بالتحكم فى عملية الحقن .

الثانى : صمام حقن وقود مزود بـ :

- صمام السيرفو (1) Servo valve .
- صمام إرشاد (3) Pilot valve وعليه كباس (2) Piston .
- صمام تصريف (6) Relief valve على الفتحة (8) .
- كباس وعليه إبرة الحقن (5) Control piston with injection needles .
- كباس الضغط (4) Pressure piston .



شكل (١٧ ــ ٢٥ أ)



طريقة التشغيل :

طالما يوجد ضغط زيت من الفتحة (B) لصمام السيرفو على الكباس (2) يكون صمام الإرشاد (3) مقفولاً ولا يمر أى وقود .

عند تلقى المفتاح الكهربى إشارة من وحدة التحكم الإلكترونية لبدء حقن الوقود ، يقوم صمام السيرفو بتحويل ضغط الزيت الهيدروليكى من الفتحة (B) إلى الفتحة (A) حيث يتم تصريف الضغط من (B) . ويفتح صمام الإرشاد (3) بتأثير ضغط الوقود ، حتى يمكن مرور الوقود إلى غرفة الفونيه وعندما يرتفع ضغط زيت السيرفو عند الفتحة (A) يقفل صمام التصريف (6) تماماً الفتحة (8) وترتفع الإبرة ويبدأ حقن الوقود القادم من الفتحة (7) عن طريق مجمع الوقود Accumulator ذو الضغط الثابت .

لإنهاء الحقن يتلقى صمام السيرفو ثانية الإشارة من وحدة التحكم الإلكترونى (عن طريق المفتاح الكهربى) فيتغير اتجاه ضغط الزيت الهيدروليكى من الفتحة (A) إلى الفتحة (B) ويتم تصريف ضغط الزيت من (A) ، وضغط الوقود من أعلى الكباس (4) فتقفل إبرة الحاقن .

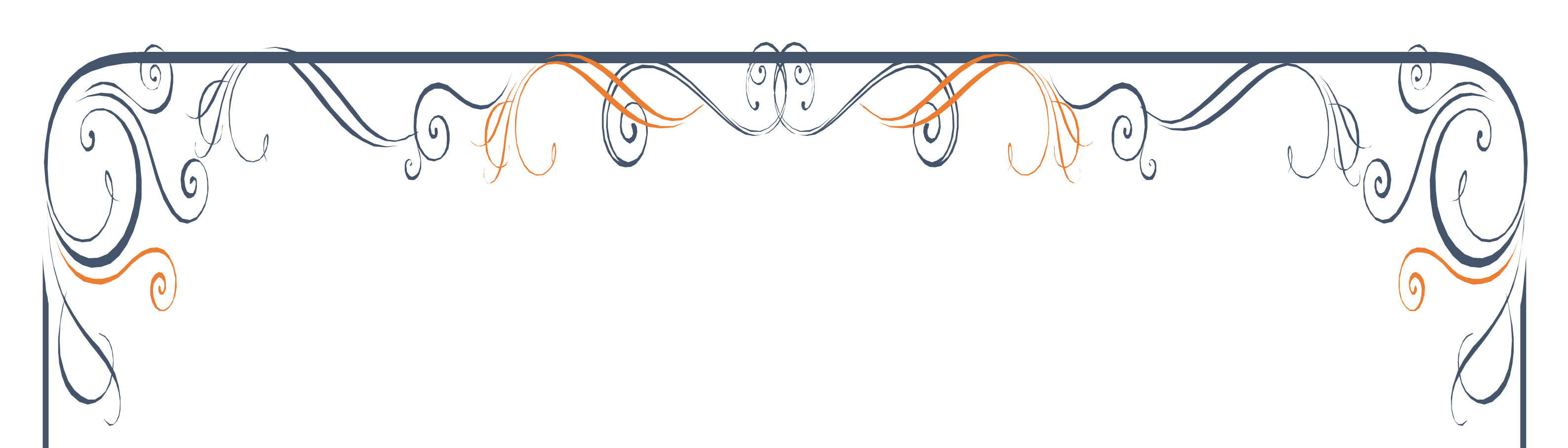
ثم يتحرك الكباس (2) بتأثير ضغط الزيت الهيدروليكى عند الفتحة (B) مسبباً قفل صمام الإرشاد (3) بحيث لا يسمح بمرور الوقود ، أما الفائض فيمر خلال صمام التصريف (6) من فتحة التصفية (8) ويتصرف الضغط من غرفة الفونية .

ملحوظة :

يمكن لصمام السيرفو الهيدروليكى بواسطة وحدة تحكم صغيرة،التحكم بكل دقة فى القدرات الكبيرة الهيدروميكانيكية اللازمة لتشغيل إبرة الحاقن فى ١/١٠٠٠ من الثانية ، وقد استخدمت مثل هذه الصمامات منذ عشرات السنين فى نظم التحكم الهيدروليكية .

وعلى العموم لقد حقق نظام التحكم الإلكترونى فى الحقن مزايا فنية واقتصادية هامة مثل :

- انخفاض معدلات استهلاك الوقود وخصوصاً عند الأحمال الجزئية .
- عدم تأثير تغير ظروف التشغيل على أداء المحرك والحصول على الاحتراق الكامل.

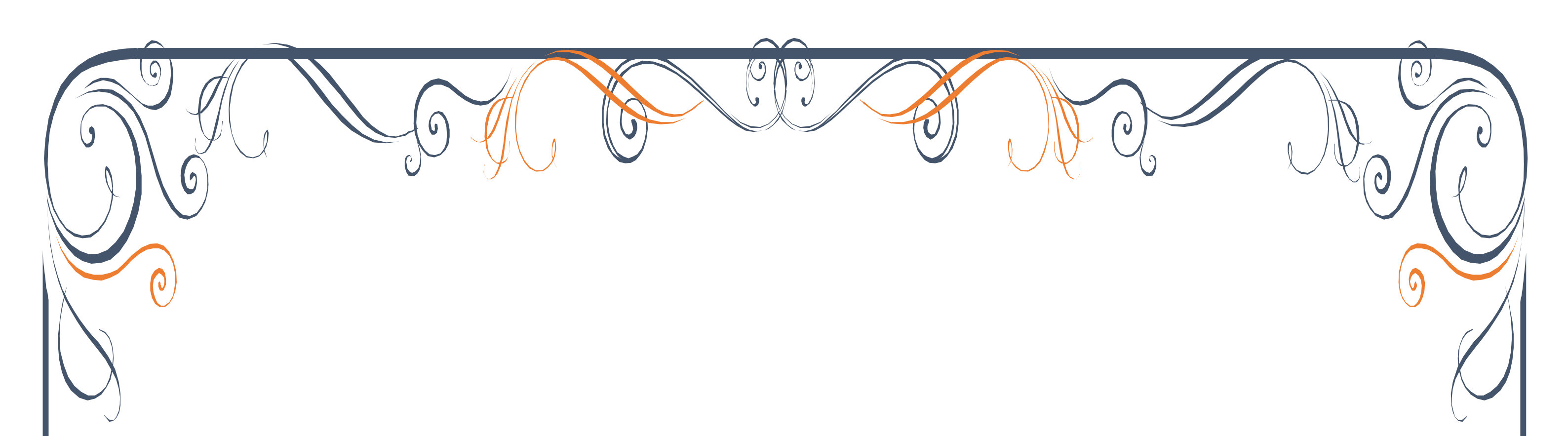


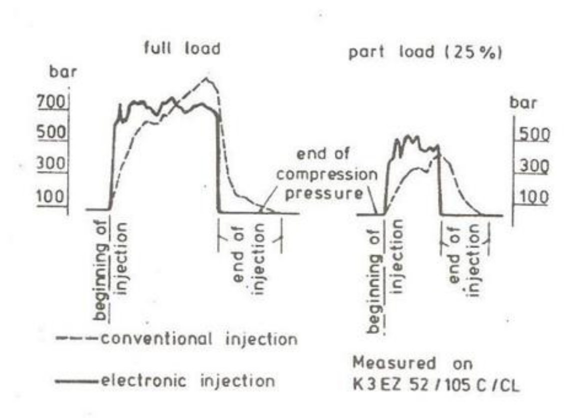
- تكيف الحقن ليناسب خواص احتراق الوقــود الأقــل جــودة لضـــمان التشـــغيل الاقتصادى .
- تحسين خصائص انبعاث العادم ونسبة أكاسيد النتروجين NO_x .
- تكيف الحقن بظروف رحلة السفينة (بالحمولة أو بدونها ، حالة الجو ، توليــد الكهرباء من المحرك الرئيسى) وتغير ظروف الشحن (مناطق حارة أو باردة) .
- تخفيض السرعة البطيئة Dead slow من ١/٤ السرعة القصوى إلى حوالى ١/٧ السرعة القصوى .
- يكيف الحقن نظراً للتغير السريع فى الحمل أو سرعة الرفاص نتيجة خروجه من الماء .

١٧ ــ ٥ ــ ٣ : نتائج تؤكد تحقيق الهدف Results confirm targets

تؤكد نتائج التشغيل والمهارات المكتسبة فــى المحــرك M.A.N.K3 EZ الأهــداف الموضوعه ، والآمال المنتظرة وهى :

١. أورت النتائج أن منحنى ضغط الحقن بالغرفة قبل ثقوب فونية الحاقن (وهــى المعيار لتقييم نوعية الحقن وتكون الخليط وعملية الاحتــراق) علــى هيئــة مستطيل أى بضغط ثابت تقريباً طوال فترة الحقن ، ثم نزول الضغط المفاجئ عند انتهاء الحقن ، سواء فى حالة الحمل الكلى أو الجزئــى ، وهــذا يعتبــر ضرورياً للاحتراق الجيد الكفء ، كما يتضح من الشــكل (١٧ ــ ٢٥ ب) .
   أما فى نظام الحقن العادى يصل الحقن إلى أقصى قيمة له ويظل فترة قصــيرة جداً ثم ينخفض تدريجياً إلى أن ينتهى الحقن ، وفى هذه الحالة قــد تتعــرض الإبرة للفتح مرة أخرى Secondary – injection ويحدث تســييل بالرشــاش ودخان بالعادم .
٢. ثبوت الضغط طوال فترة الحقن مع حقيقة أن ضغط الحقن يتناسب مع الحمل ، يؤدى إلى نقص معدل استهلاك الوقود على مدى الحمل .
٣. الحقن المحكم الذى أمكن تحقيقه يمكن من الأداء السليم حتى عند الســرعات المنخفضة عما هو معمول به فى حالة الحقن العادى ، وقد ساهم ذلك بشدة فى المناورة وأداء السفينة .





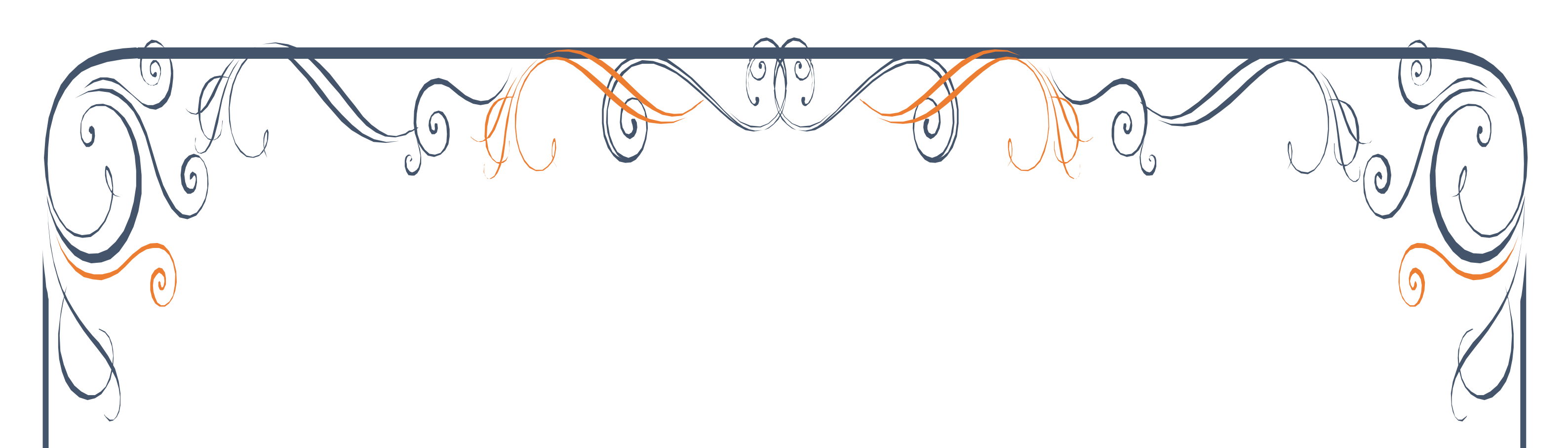
Comparison of pressure development in injection nozzle orifice, between conventional and electronic injection systems

شكل (١٧ – ٢٥ ب)

ولقد أمكن تشغيل المحرك K3EZ 52/105 C/CL على السرعة المنخفضة ٣٠لفة/دقيقة والتى كان غير ممكن تحقيقه من قبل .

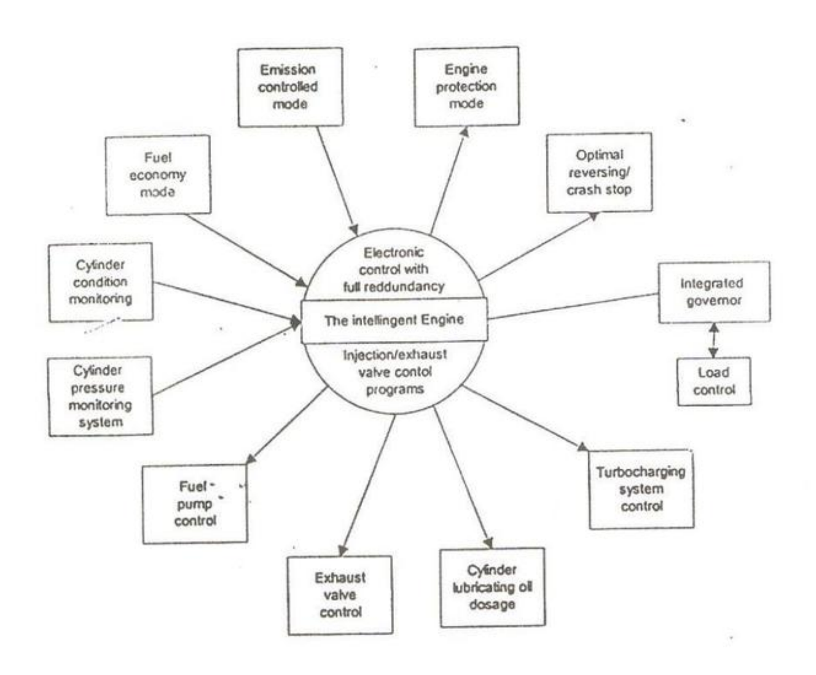
١٧ ـ ٦ : المحرك الذكى Intelligent engine

للوصول إلى الأداء الأمثل لمحرك الديزل لتحقيق أقل معدل لاستهلاك الوقود ، ويكون العادم أقل تلويثاً للهواء الجوى بدأت الشركات المصنعه لمحركات الديزل البحرية M.A.N – B&W, Sulzer فى إنتاج المحرك الذكى المبنى على : التحكم الإلكترونى فى منظومة حقن الوقود ومنظومة فتح وغلق صمام العادم ، وباقى منظومات المحرك ، وبذلك أمكن الاستغناء عن عمود الكامات ، وتتلخص فكرة المحرك الذكى فى رصد أداء المحرك ومقارنته بالأداء الأمثل للمحرك عند نفس ظروف التشغيل ، وعند وجود أى انحراف بين هذه القيم تصدر إشارات تصحيح لمعالجة هذا الانحراف بطريقة آلية للرجوع إلى الأداء الأمثل ، وتبقى مسئولية أفراد الطاقم فى الإدارة وأعمال الصيانة وتوفير قطع الغيار .

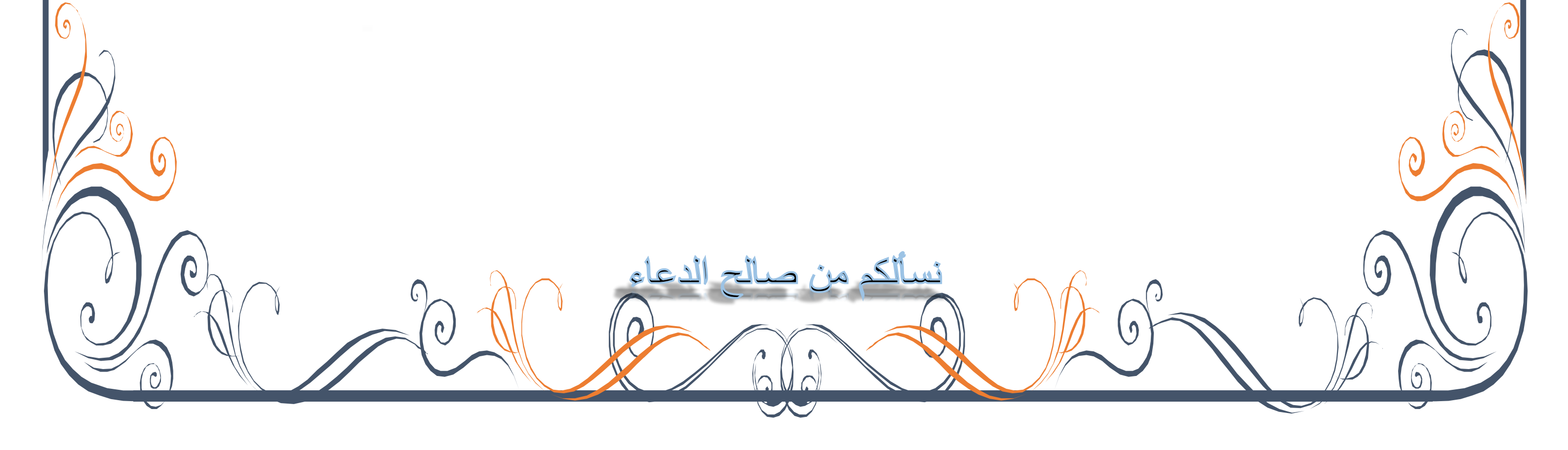


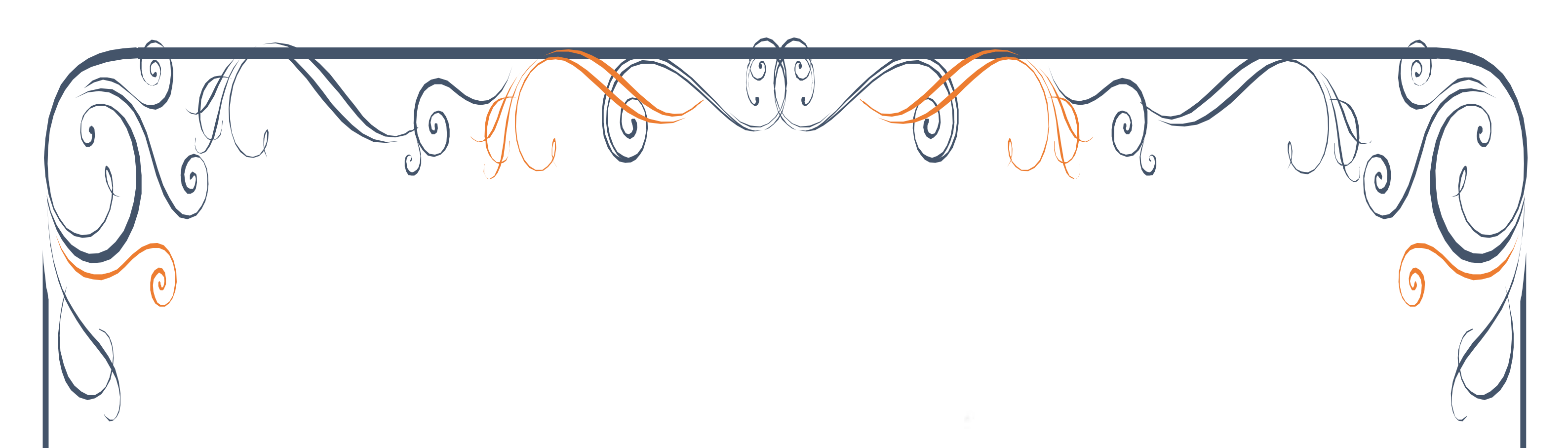
شكل (١٧ ــ ٢٦) يوضح منظومة المحرك الذكى وتتكون من :

الجزء المركزى : وهو عبارة عن جهاز كمبيوتر مبرمج ومخزن به كل البيانات الخاصة بالأداء الأمثل عند أحمال مختلفة لنوعيات عديدة من الوقود ، ويــتم تغذيته بمعلومات عن طريق وحدة تحكم الكترونية ، والتى تقوم بتحليل الحالة العامة للمحرك أثناء التشغيل ، كما تقوم بتشــغيل منظومــات المحرك المختلفة مثل مزايــت الاســطوانات ، منظومــات الحقــن و صمامات العادم .



شكل (١٧ ــ ٢٦)





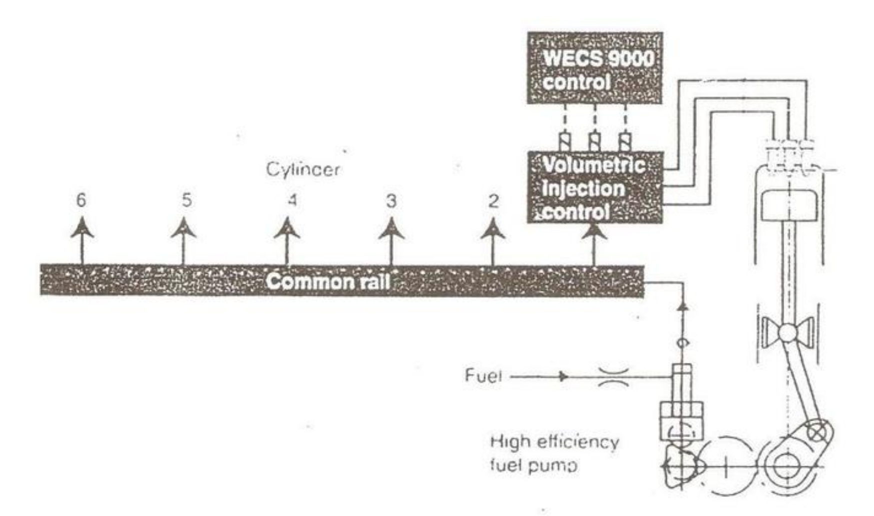
وقد اتبع كل من الشركتين السابقتين نظام معين للحقن .

أولاً : نظام " سولزر " Sulzer :

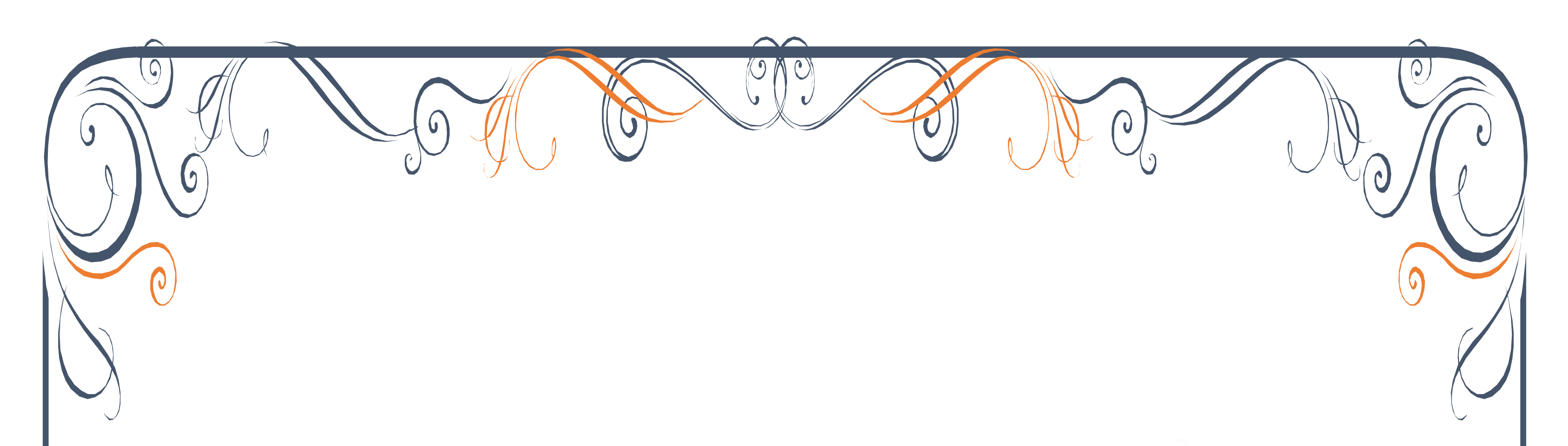
ويتكون كما يتضح من الشكل (١٧ ــ ٤٢٧) من مضخة حقن عالية الكفاءة وذات ضغط عالى وسعة كبيرة تكفى جميع إسطوانات المحرك ، تعطى ماسورة ضغط عالى التى تغذى بدورها كل اسطوانات المحرك ، وتحتوى كل اسطوانه على ثلاث حواقن ويعمل كل منهم منفرداً ، وبذلك يمكن الاستفادة بميزة الحقن المرشد ، والتحكم فى معدل الحقن ومدته .

ويتم ذلك عن طريق وحدة تحكم ــ لكل وحدة ــ يقوم بتشغيلها الكمبيوتر حيث تسمح بمرور الوقود ذو الضغط العالى من الماسورة إلى الثلاث حواقن بتوقيتات مختلفة .

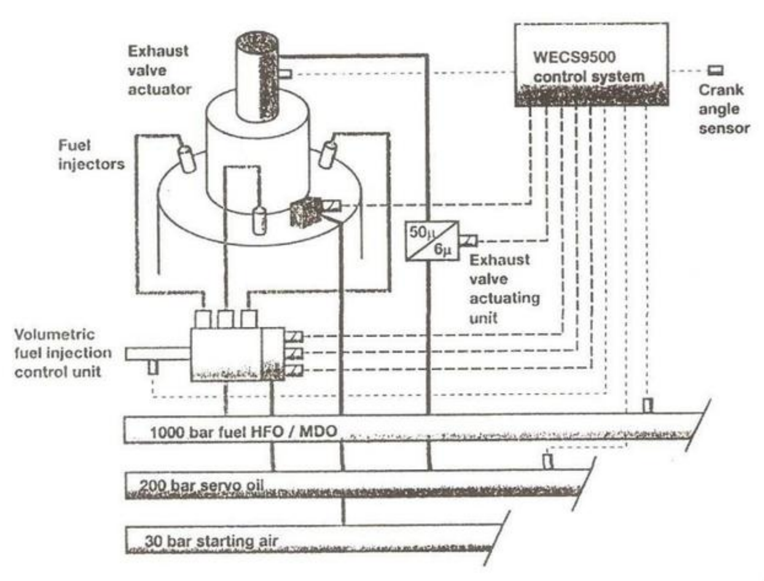
أما بالنسبة لصمام العادم الهيدروليكى وجميع منظومات المحرك فتعمل بنفس الفكرة ، من هذا يتضح أن المحرك يملك القدرة على الاحتفاظ أوتوماتيكياً بالأداء الأمثل ، على الرغم من تغير ظروف التشغيل دون الحاجة إلى التدخل اليدوى .



شكل (١٧ ــ ٤٢٧)



و الشكل (١٧-٢٧ب) يوضح منظومة التحكم الإلكتروني بالنسبة لحقن الوقود و تشغيل صمامات العادم و سرفو عكس الحركة.



Schematic of the Sulzer RT-flex system with electronically-controlled common-rail systems.

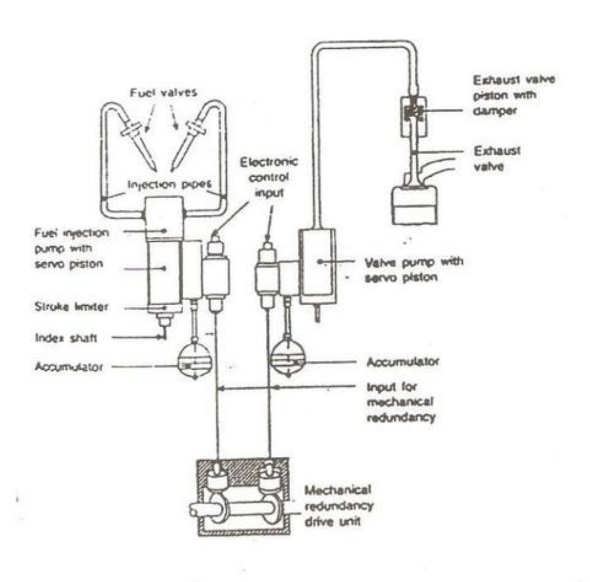
شكل (١٧-٢٧ب)





ثانياً : نظام MA.N.-B&W :

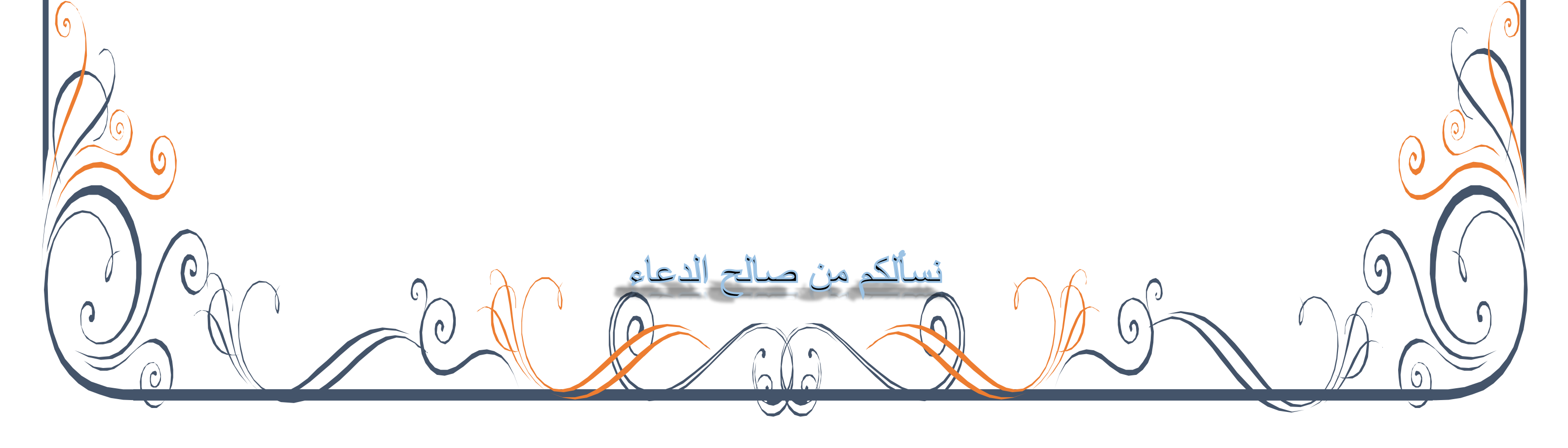
وتتكون المنظومة من مضخة زيت هيدروليكيه ذات ضغط عالى ، حيث يستخدم هذا الزيت فى تشغيل مكبس مضخة الحقن ، كما يتضح من الشكل (١٧ ــ ٢٨) ، حيث يدخل الزيت إلى غرفة التشغيل فيقوم بحقن الوقود ، ويتم التحكم فى توقيت دخـــول الزيت وكميته من خلال صمام يعمل كهربائياً يتحكم فى تشغيله وحدة تحكم الكترونية ويتم تشغيلها عن طريق جهاز كومبيوتر مبرمج . وتعمل وحدة التحكم الكترونية على ضبط توقيت الحقن وكمية الوقود المحقونة ومعدل الحقن .

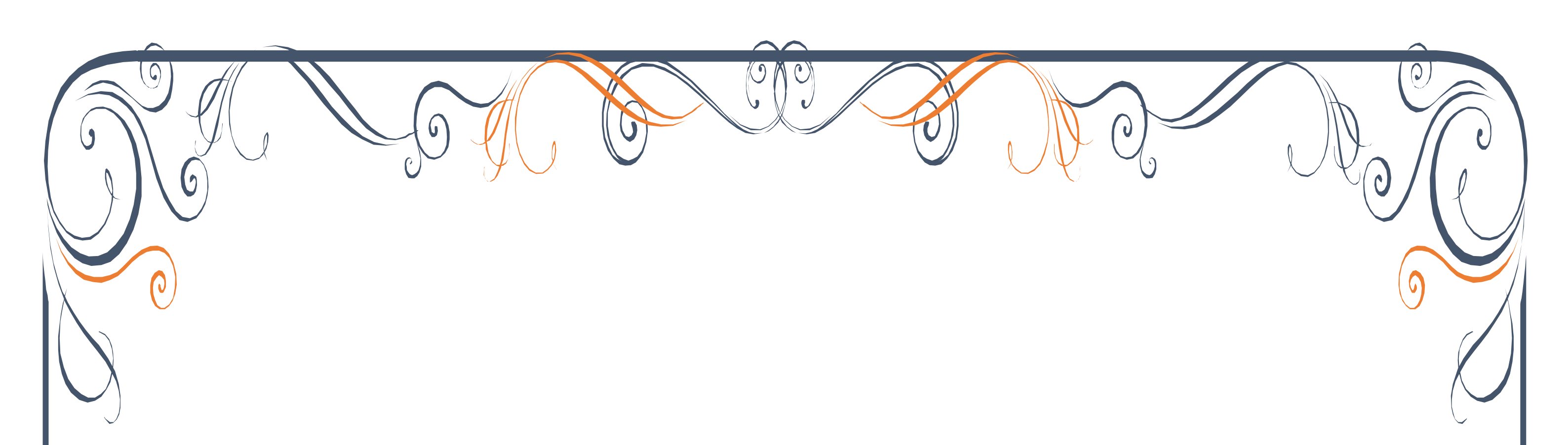


شكل (١٧ ــ ٢٨)

ملحوظـــــه :

يتم الاستعانة بمنظومة ميكانيكية تستخدم فى حالة فشل المنظومـــة الإلكترونيـــة ، وبذلك يعمل المحرك مثل المحرك التقليدى (ويفقد مزايا المحرك الذكى) ــ وهـذه المنظومة عبارة عن عمود صغير يحتوى على عدد من الكامات التى تقوم بتشـــغيل الصمامات الكهربية ميكانيكياً .



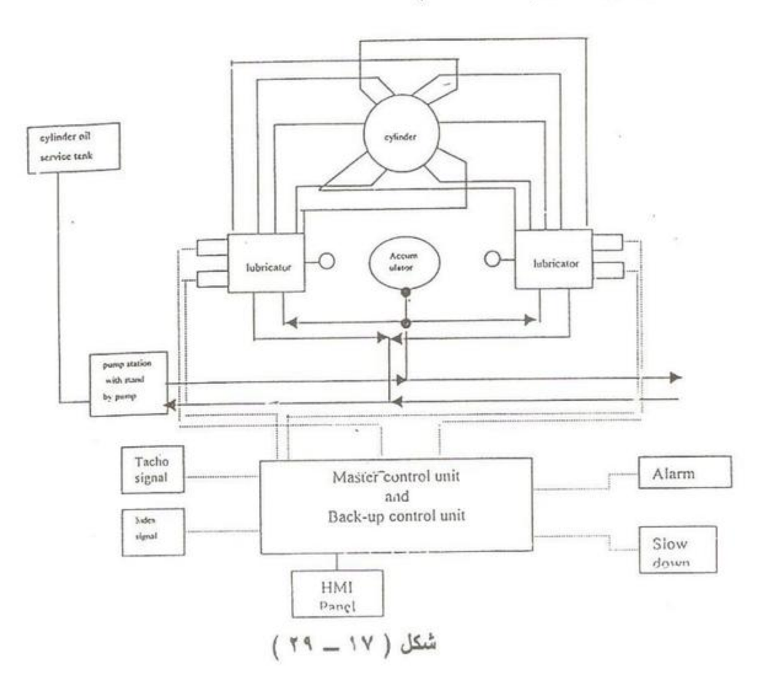


عملية التحكم فى صمامات العادم يتم بنفس الطريقة عن طريق توجيــه الزيــت ذو الضغط العالى من خلال صمامات كهربيه ــ يمكن تشغيلها الكترونياً ــ إلى صمامات العادم التى تعمل هيدروليكياً ، وعن طريق الصمامات الكهربية يمكن تغيير توقيــت فتح وغلق صمامات العادم .

منظومة تزييت الاسطوانات الإلكترونية :

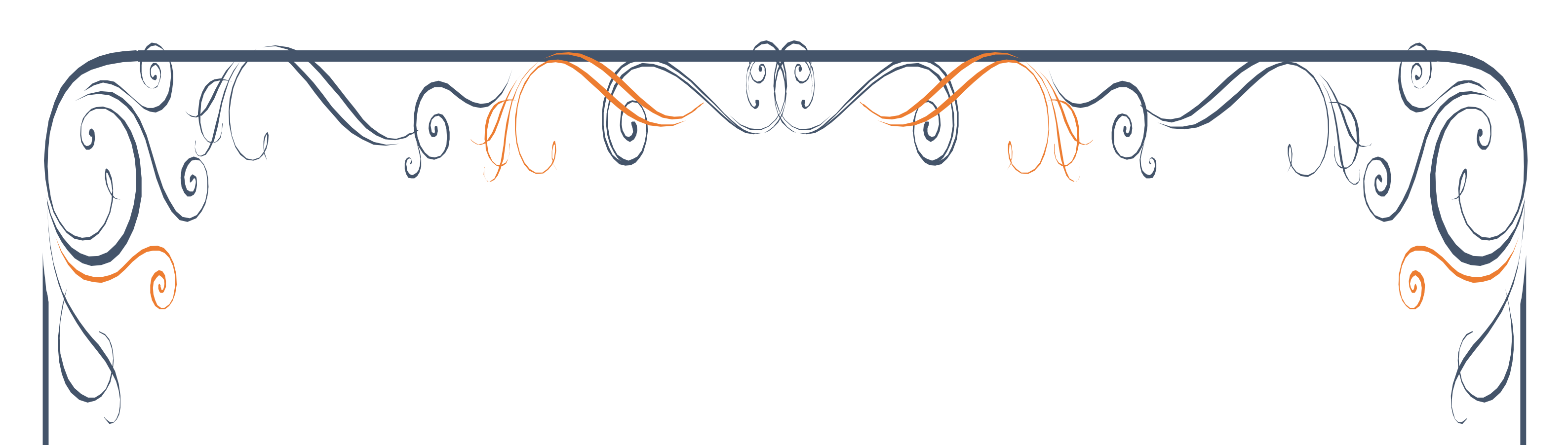
الهدف من هذه المنظــــومة هو تقليل اســـتهلاك زيت تزييت الاســطوانات مــن (١,٢ إلى٠,٧جم / ك.وات.ساعة) دون التعرض لزيادة معدل البرى .

فمن المعروف أن زيت تزييت الاســـطوانة يتم حقنه دخل الاســطوانة عنــد وضــع وتوقيت معين ، لذا قامت الشــــركات بتصميم منظومــة التزييــت الإلكترونيــة كمــا يتضـــح فى الشكل (١٧ ــ ٢٩) .



شكل (١٧ ــ ٢٩)



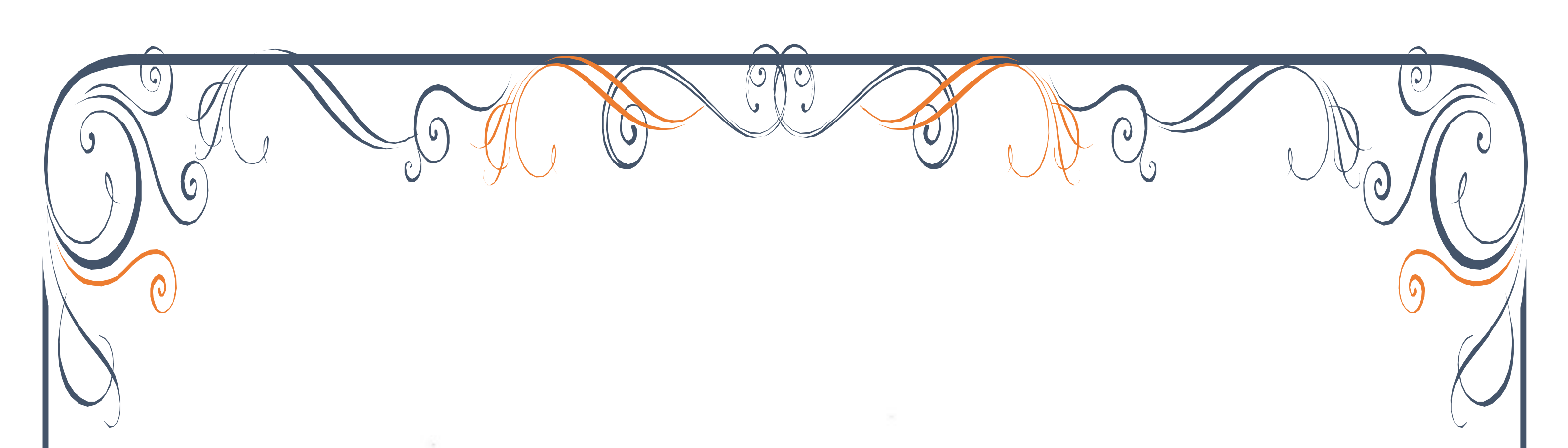


وتتكون المنظومة المشار إليها من مضخة لضخ الزيت Lubricator إلى الحواقن Quills ، ويتم التحكم فى التوقيت والكمية عن طريق صمامات تعمل كهربائياً ويقوم بتشغيلها وحدة تحكم إلكترونية حيث تتحكم فى التوقيت والكمية حسب الحمل الواقع على المحرك .

فى حالة نزول ضغط الزيت يعمل الإنذار ، وتبدأ وحدة التحكم الإلكترونية فى تشغيل المضخة الإحتياطية .

مميزات المحرك الذكى :

١. حقن أمثل للوقود عند الأحمال المختلفة للحصول على أحسن أداء للمحرك .
٢. تحسين عملية الاحتراق عند الأحمال المختلفة فيقل المعدل النوعى لاستهلاك الوقود .
٣. مراقبة عملية الاحتراق داخل الاسطوانات وتوزيع الأحمال بالتساوى للحصول على اتزان المحرك .
٤. تحسين أداء المحرك عند عكس الحركة أو التوقف الفجائى .
٥. ضغط الحقن يظل مرتفعاً حتى عند الأحمال الصغيرة وهذا يعمل على تجنب الاحتراق الغير كامل .
٦. إمكانية استخدام نوعيات مختلفة من الوقود ، إلى الأقل جودة حيث تصل لزوجتها ٧٠٠ سنتيستوك عند ٥٠ْم.
٧. تحسين أداء المحرك فى حالة السرعات البطيئة جداً . كما أمكن تقليل سرعة المحرك كثيراً عن المحركات العادية وذلك بفضل الحقن الإلكتروني .
٨. غازات العادم المتصاعدة تكون أقل تلوثاً ، نظراً لتحسين عمليات الاحتراق .



١٧ ـ ٧ إمكانية حرق مخلوط من الوقود والماء لتقليل الاستهلاك .

Possibility to burn mixture of residual oil and water

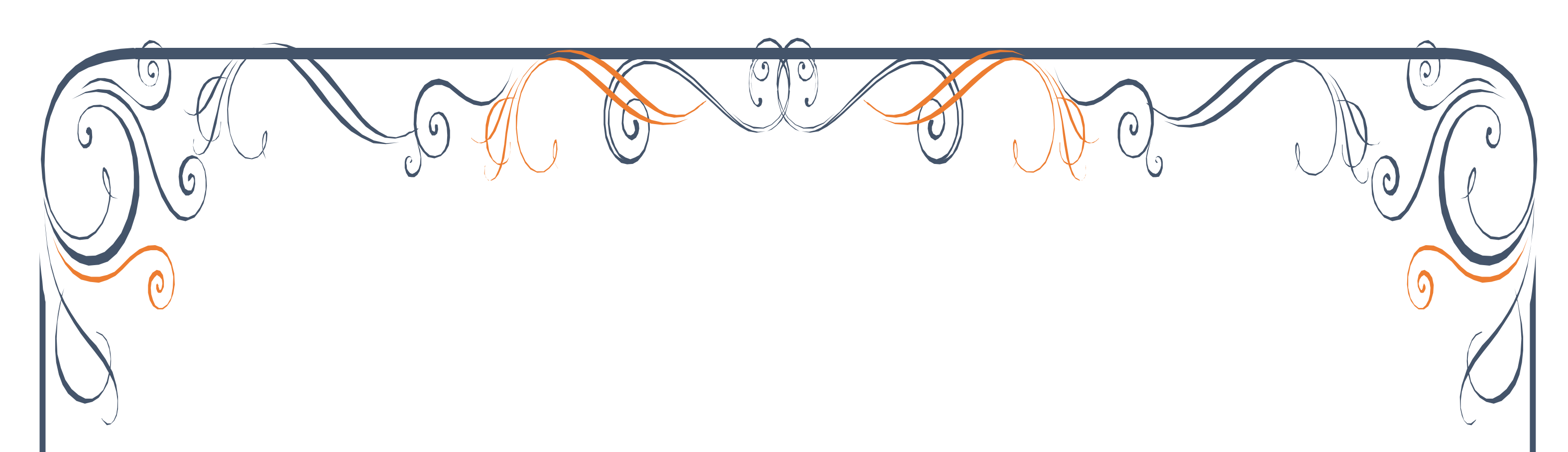
لقد عرف قديماً منذ عام ١٨٨٠ إمكانية حرق خليط من الوقود والماء فى آلات الاحتراق الداخلى . ومنذ ذلك الوقت والبحوث جارية فى هذا الاتجاه من حين إلى آخر ، ولا تنحصر الفائدة فقط فى تحسين الاحتراق أى رفع الكفاءة الحرارية ، بل كذلك تقليل اكاسيد النيتروجين NO_x فى غازات العادم ، ويعتبر هذا هام جداً من وجهة نظر التلوث فى المحطات البرية .

وقد وجد أيضاً أنها تقلل درجة حرارة الاحتراق أى أنها تقلل الاجهادات الحرارية على الأجزاء المحيطة بغرف الاحتراق ، كما أنها تجعل حيز الاسطوانه أكثر نظافة مما له أكبر الأثر على مد فترات الصيانة والكشف .

وقد فشلت مواصفات وقود المستقبل فى تقييد الوزن النوعى ، مما له أكبر الأثر فى عدم إمكانية فصل المياة من الوقود بطريقة الطرد المركزى ، حيث يجب أن تكون كثافة الوقود أقل من الواحد ، وللأغراض العلمية يجب أن تكون أقل من ٠,٩٩ . وقد واجهت هذه المسألة المسئولين وشدت انتباههم ، فاستحدثت الدراسات منذ عام ١٩٨١ لاستخدام مستحلب (الوقود / الماء) فى محركات الديزل البحرية ، ولكن وضعت قيود لضمان كفاءة التشغيل وهى :

- إنتاج مستحلب (الوقود / الماء) بدون استخدام أى إضافات كيميائية .
- إمكانية حقن المستحلب فى الاسطوانة مباشرة بواسطة منظومة حقن الوقود المألوفة ، حتى يتسنى لمهندس النوبة التحويل إلى الوقود العادى فى حالة الضرورة .
- قدرة الجهاز على إنتاجية مستحلب ثابت ، من الأنواع المختلفة للوقود .
- يكون جهاز الاستحلاب المستخدم عبارة عن جزء متضمن للمحطة ، ويغذى منظومة الحقن مباشرة بدون الاحتفاظ بالمستحلب فى صهريج خاص ، ويكون الخلط واقع تحت ضغط ، حتى لا تظهر أى أبخرة للماء .

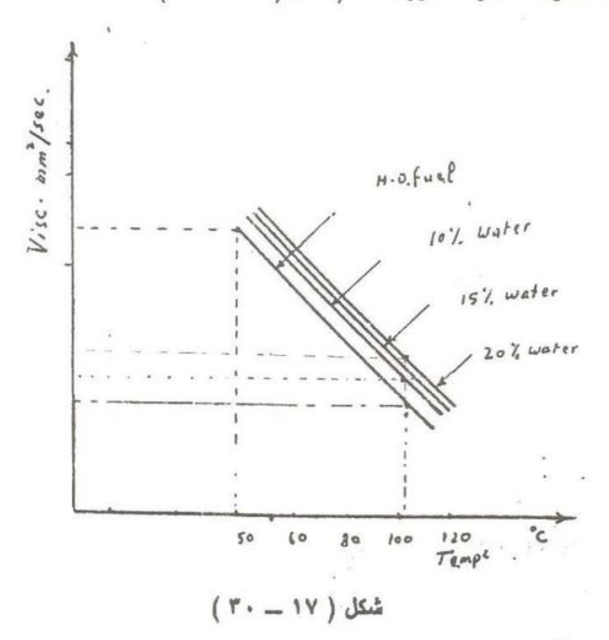
ويشترط أن يقوم جهاز الاستحلاب Emulsifier بخلط الماء بالوقود وتشتيته بحيث



يجعله متجانساً ، وتعتمد نوعية المستحلب وتجانسه وثبوته على حجم القطيرات الصـغيرة التى يتكون منها المستحلب ، ويتراوح قطر القطيرة فى حالة الوقود الثقيل بـين ٢ ، ١٠ ميكروملم فى أحسن الظروف .

وقد تمـت التجارب على وقود ذات لزوجة ١٢٥سنتيستوك عنـد ٥٠ْم (٥٠٠ ثانيـة ريدوود عند ٣٨ْم) ونسبة المياه ٢٠% بمحـرك ديزل قدرته ٨٨٠ كيلـووات عنـد ١٠٠٠ لفة/دقيقة . ولم يتم تعديل منظومة الوقود الأصلية ، ولكن وضعت الاعتبارات لضبط درجة الحرارة للحصول على اللزوجة المناسبة .

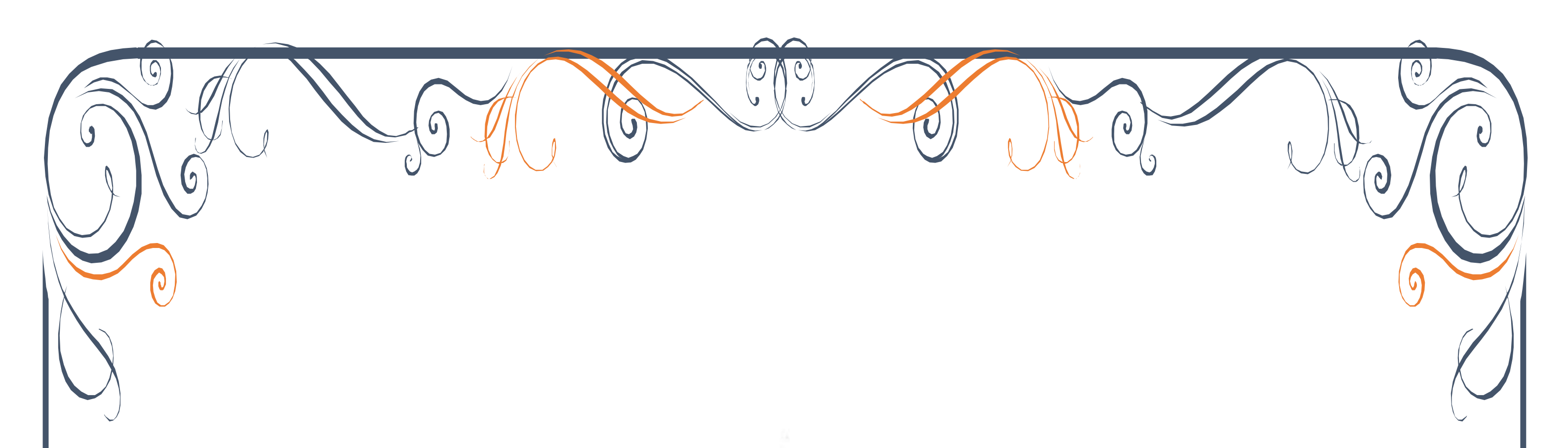
وقد تلاحظ أن لزوجة المستحلب أعلى من لزوجة الوقود نفسه ، وكلمـا زادت نسـبة المياه فى المخلوط كلما زادت لزوجته . (شكل (١٧ ــ ٣٠) .



شكل (١٧ ــ ٣٠)

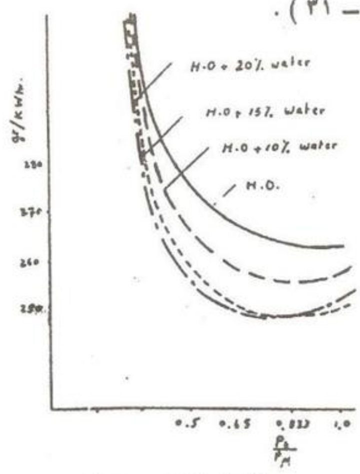
المـــــزايا :

– نظراً للارتفاع المستمر لأسعار الوقود والتطور الكبير فى عمليات تقطير البترول أصبح الوقود المتخلف أقل جودة ، وكثافته النوعية غير محددة ، مما يجعل من الصعب استخدام المنقيات المألوفة . كما تعذر أستخدام هذه النوعيات من الوقود



فى المحركات البرية نظراً للقيودات التى تحكم تلوث البيئة ، ولذا فإنــه يعتبــر الوقود المتيسر للاستخدام البحرى وبلا شك فإنه أقل سعراً .

- عملية التخلص من مخلفات هذه النوعيات من الوقود تعتبر عبء كبير وخاصة من وجهة نظر التلوث ، كما أن حرقها يعتبر مكسب من ناحية القيمة الحرارية .
- لون العادم أفتح خاصة عند الأحمال الجزئية .
- بالكشف على الاسطوانة بعد ١٥٠ ساعة ظهرت نظافتها بالمقارنة لــو عملـت بالوقود المتخلف فقط .
- بالرغم من احتواء الوقود على ٢٠:١٥% ماء ، فقد تحقق أيضاً انخفاض فــى معدل استهلاك الوقود طوال جميع مراحل التحميل على المحرك كما يتضح مــن الشكل (١٧ ــ ٣١) .



الشكل (١٧ ــ ٣١)

وعلى ذلك فإن ما سبق يعتبر كافياً لتوضيح إحدى الطرق الممكنــة لتقليــل اســتهلاك الوقود ، أى تقليل تكلفة التشغيل ، والوفر الذى يمكن تحقيقه يعتمد تماماً على نوع المحرك وكفاءته الحرارية .

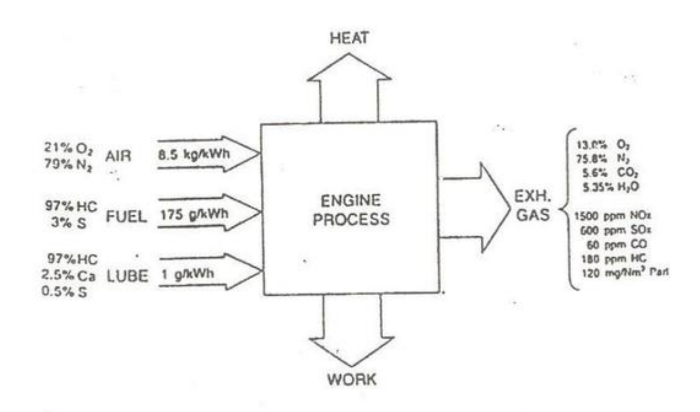
بالإضافة فإنه تلاحظ أن التحسن الضئيل فى معدل استهلاك الوقود سوف ينعكس تماماً على الوفر الواضح فى كمية الوقود الكبيرة المستهلكة طوال فترة تشغيل السفينة ، ولذا فإن خلط الوقود بالماء يعتبر عمل اقتصادي له أهميته .



١٧ ـ ٨ : انبعاث غازات العادم Exhaust-gas emission

مقدمـــــــة :

غازات العادم المتصـــــاعدة من محركات الديزل البحرية تحتوى كما يتضح من الشكل (١٧ ـ ٣٢) على نتروجين وأكسيجين وثانى أكسيد الكربون وبخار الماء ، بالإضافة إلى أكاسيد نتروجينية ، وأكاسيد كبريتية وأول أوكسيد الكربون وهيدروكربونات .



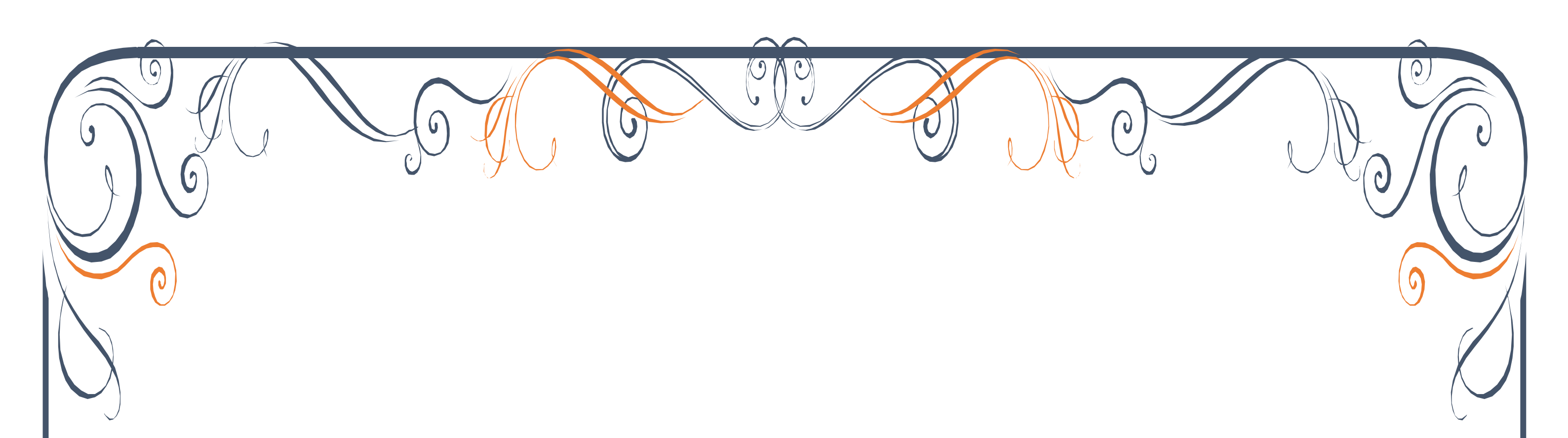
شكل (١٧ ـ ٣٢)

والأكاسيد النتروجينيه على سبيل الخصوص يمكن أن تسبب ضباب كيميائى ، وأمطـــار حمضية ، أما الأكاسيد الكبريتية فتسبب زيادة فى حمضية التربة ، عـــلاوة علـــى آثارهـــا الضارة على تنفس الكائنات الحية والزراعة ومواد البناء .

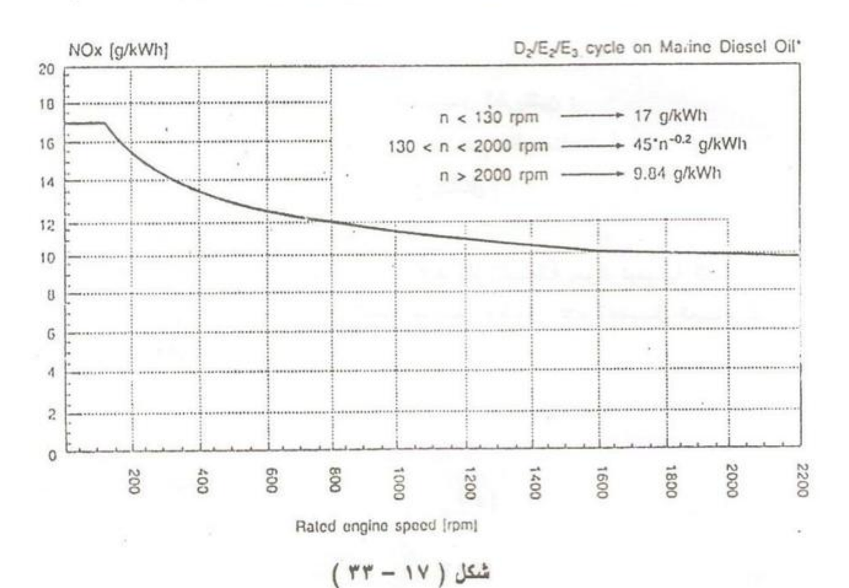
وطبقاً للإحصائيات ، فإن النقل الدولى مسئول عن ٥% مـــن أكاســـيد الكبريـــت SO_x وحوالي ٧% من NO_x أكاسيد النتروجين .

بدأت المنظمة البحرية الدولية IMO بالعمل من أجل خفض نسبة NO_x إلـــى ٣٠% ، SO_x إلى ٥٠% . لذلك أضافت ملحق جديد للاتفاقية الدولية لمنع التلوث MARPOL للحد من التلوث الهوائى ، ولكن لم تدخل حيز التنفيذ لعدم اكتمال الشروط .

يمكن تقليل نسبة SO_x عن طريق الغسيل أو التنظيف الكيميائي لغازات العادم ، ولكن من الأفضل مادياً استخدام وقود يحتوى على نسبة كبريت منخفضة ، وتعتبر نسبة الكبريت فى الوقود فى حدود ١,٥% كافية لتحقيق متطلبات IMO .



يتصاعد سنوياً عشرة ملايين طن من أكاسيد النتروجين NO_x إلى الهواء الجوى من المحركات البحرية ، وأظهرت الدراسات أن النقل البحرى مسئول فى حدود من ١٠ إلى ٢٠% من مجموع NO_x المتصاعد بفعل الإنسان ، وتصل أحياناً نسبة NO_x فى بعض المناطق إلى ٤٠% وقد تصل إلى ٥٠% فى بعض الموانئ الكبرى . وقد أقرت المنظمة الدولية IMO نسبة NO_x المسموح بها طبقاً لسرعة المحرك الديزل على أن تكون ١٧جم/ك.وات.ساعة للسرعات الأقل من ١٣٠لفة فى الدقيقة و ٩,٨٤جم/ك.وات ساعه للمحركات التى تزيد سرعتها عن ٢٠٠٠ لفة فى الدقيقة كما بالشكل (١٧ ــ ٣٣) .



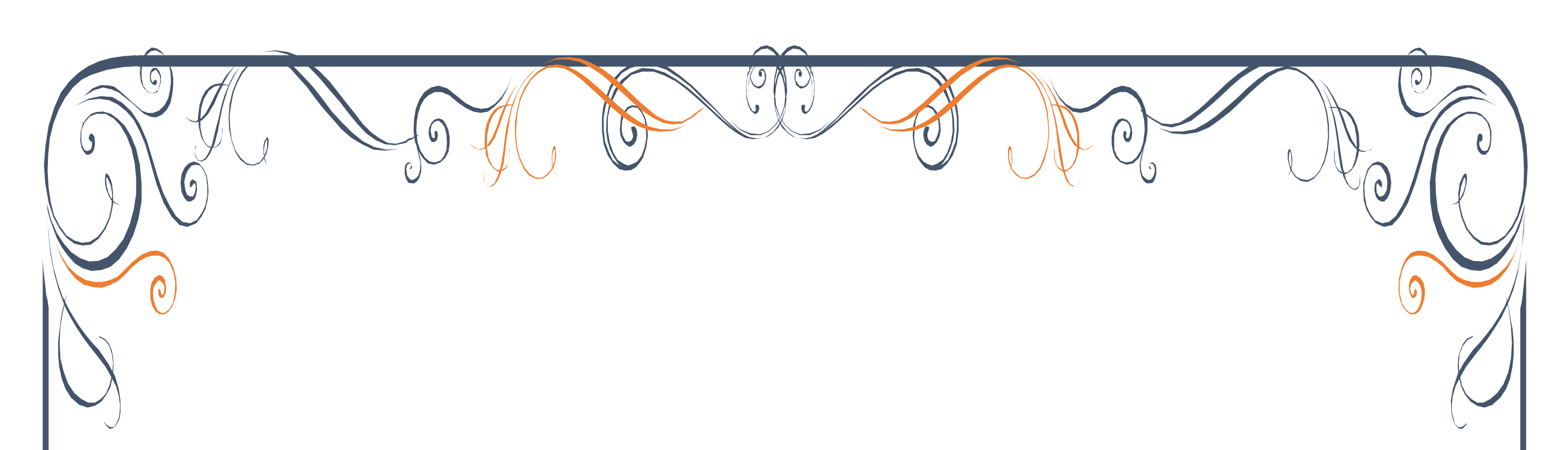
شكل (١٧ – ٣٣)

<u>العوامل المؤثرة على نسبة NO_x هى :</u>

١. درجة الحرارة : بارتفاع درجة الحرارة تزداد نسبة NOx .

٢. طول فترة الاحتراق : بزيادة فترة الاحتراق تزداد نسبة NO_x لذلك نجد أن المحركات البطيئة أكثر انبعاثاً لـ NO_x من المحركات السريعة والمتوسطة السرعة نظراً لطول فترة الاشتعال وهذا يمكن ملاحظته من شكل (١٧ – ٣٣) .

٣. درجة التركيز : كلما زاد تركيز الأكسيجين زادت نسبة NO_x .



<u>ويمكن تقليل نسبة NO_x بإحدى الاتجاهات التالية :</u>

<u>الاتجاه الأول</u> : يكون فى المحرك وذلك لتقليل نسبة NO_x أثناء الاشتعال عن طريق تحسين أداء المحرك من حيث توقيتات الصمامات وعملية حقن الوقود والشاحن التوربينى ، وبهذه الطريقة قلت نسبة NO_x بنسبة ٣٠ ــ ٦٠% .

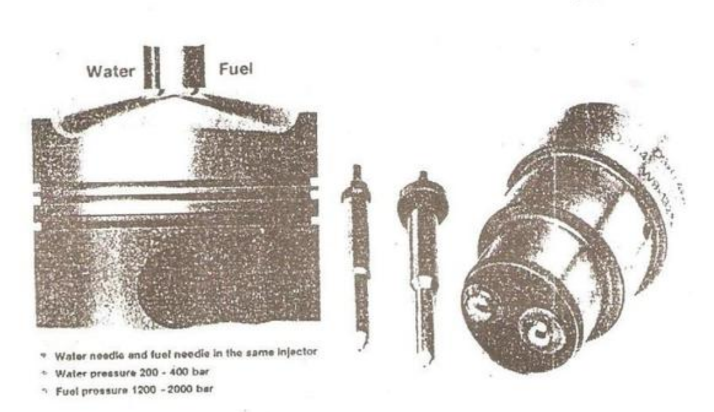
<u>الاتجاه الثانى :</u> يكون بمعالجة غازات العادم بعد خروجها من المحرك وهذا يؤدى إلى انخفاض نسبة NO_x بمقدار ٩٥% .

والاتجاه الأول مبنى على مبدأ خفض درجة الحرارة داخل الاسطوانه بإحدى الطرق الآتية :

<u>أولاً : حقن الماء داخل المحرك :</u> ويتم هذا بإحدى الطريقتين :

أ ــ حقناً مباشراً داخل الاسطوانه إما باستخدام حاقن منفصل أو باستخدام حاقن واحد للوقود والماء كما هو واضح بالشكل (١٧ ــ ٣٤) ، وفيه يتم حقن الماء أولاً ثم بعد ذلك حقن الوقود .

ب ــ حقن الوقود ممزوجاً بالماء ، وفيها يتم الاستعانة بمواد كيميائية أثناء عملية مزج الوقود بالماء لجعل الخليط متجانس وضمان عدم انفصال الماء عن الوقود.

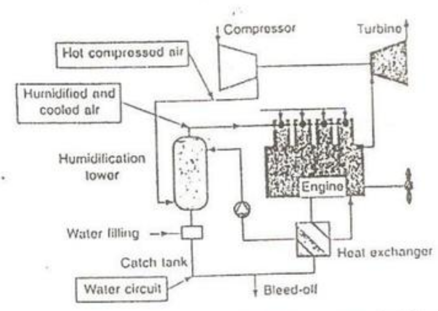


شكل(١٧ ــ ٣٤)

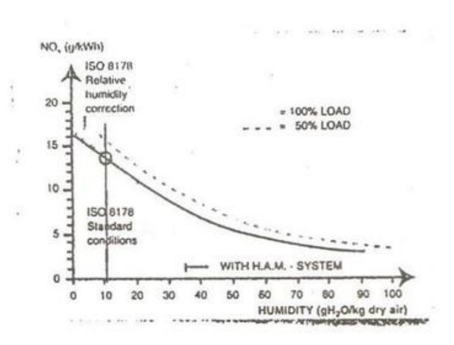


ثانياً : معالجة هواء الاحتراق : ويتم ذلك بإحدى الطرق التالية :

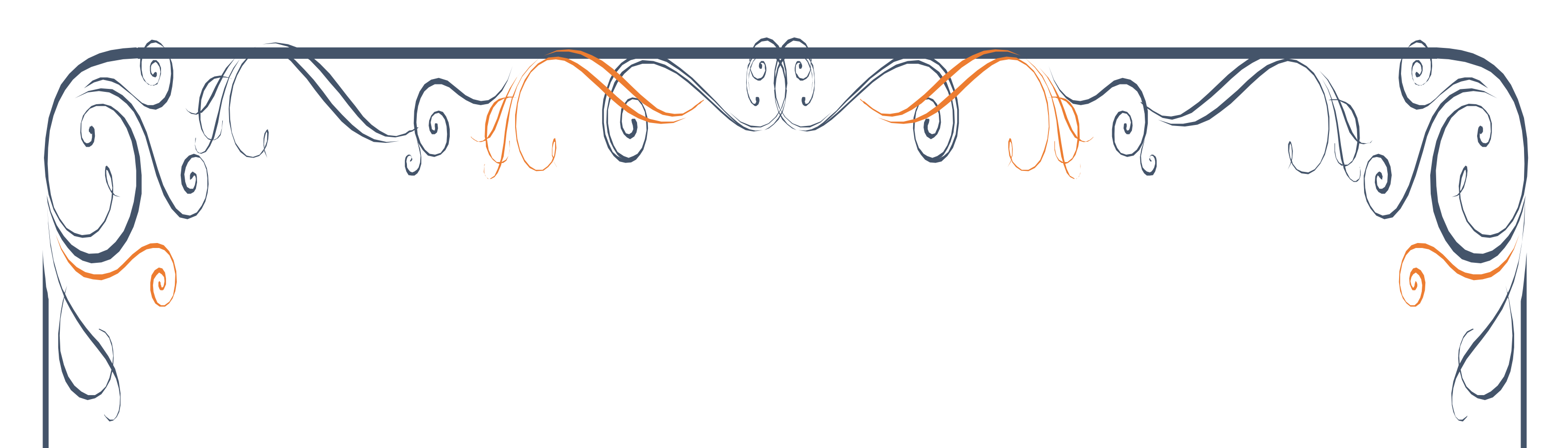
أ ــ زيادة نسبة الرطوبة للهواء الداخل حيث يتم حقن الهواء ببخار الماء من خلال خلية مخصصة لهذا الغرض تعمل بالحرارة المرتجعة من مياة تبريد المحرك كما فى شكل (١٧ ــ ٣٥) ، وبهذه الطريقة أمكن التخلص من ٦٠% مــن NO_x فى بعض المحــــركات،حيث انخفــــض NO_x عند الحمــــل الكامــل مــن ١٤,٨ جم/ك وات ساعة إلى ٣,٩ جم/ك وات ساعة .



Schematic diagram of Humid Air Motor (HAM) system for NOx emission



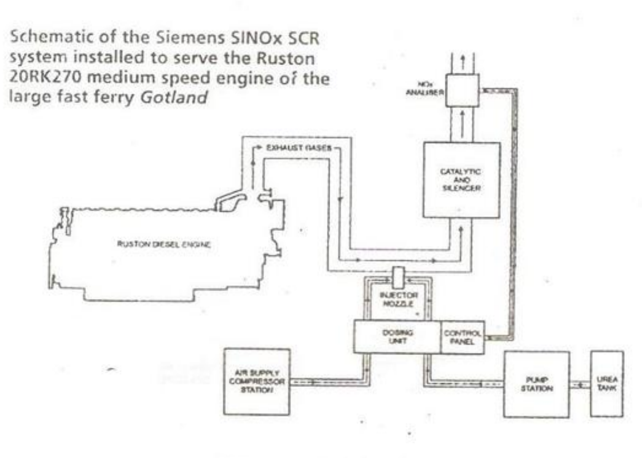
شكل (١٧ ــ ٣٥)



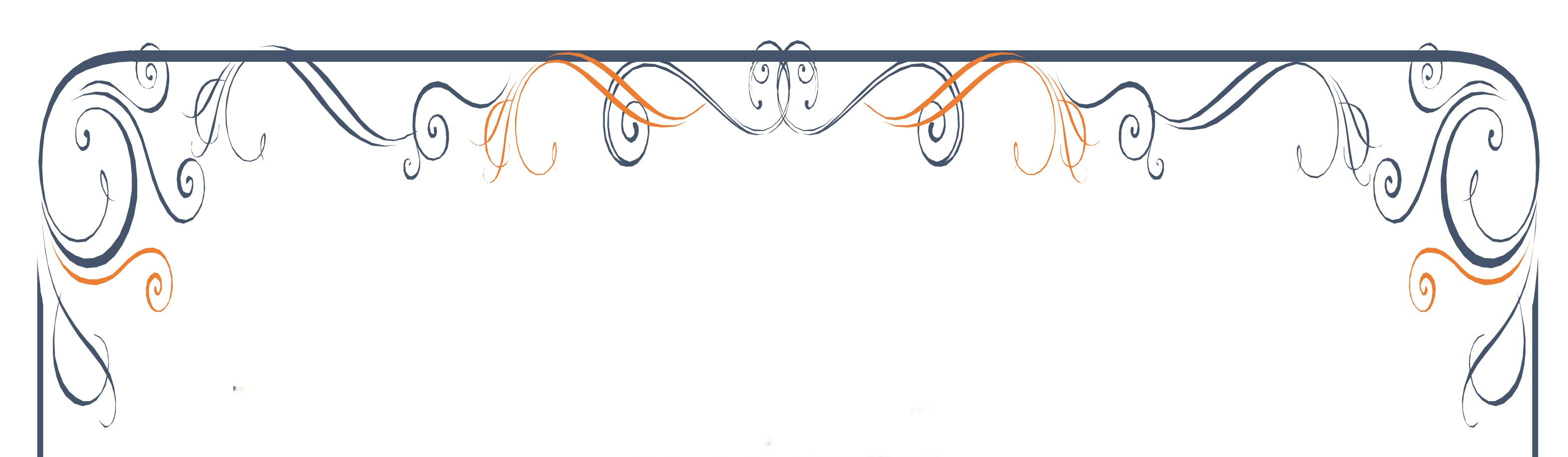
ب ــ إعادة جزء من غازات العادم بعد تبريدها وتنظيفها إلى غرفة الاحتراق .

جـ : معالجة كيميائية لغازات العادم وتتم هذه الطريقة بحقن محلول أمونيا بتركيز ٤٠% فى غازات العادم ثم يمرر الخليط على عامل حفاز عند درجة حرارة من ٣٠٠ إلى ٤٥٠ْ م كما يتضح بالشكل (١٧ ــ ٣٦) .

ويعيب هذه الطريقة أن هذه العملية تتم عند درجة حرارة عالية قبل دخول العادم علــى الشاحن التوربينى ، وبالتالى تفقد غازات العادم جزءاً من الطاقة الحرارية قبل دخولها إلى الشاحن التوربينى ولكن تتميز هذه الطريقة بأنها تخفض نسبة NO_x إلى ٢ جم / ك.وات. ساعة.



شكل (١٧ ــ ٣٦)



تقليل الأدخنة فى عادم المحرك الديزل

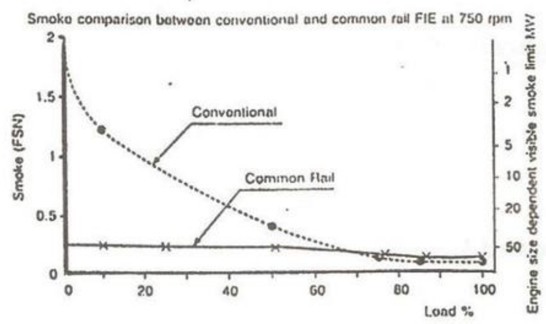
Reduction of smoke in engine exhaust

اتخذت شركة Warlsila الآتى لتقليل أدخنة العادم للمحركات المتوسطة السرعة حيث اكتشفت أن الأدخنة المتصاعدة مع غازات العادم نتيجة للسببين الآتيين :

الاول : بسبب تلامس رذاذ الوقود المحقون مع الأسطح المعدنية لغرفة الاحتراق .

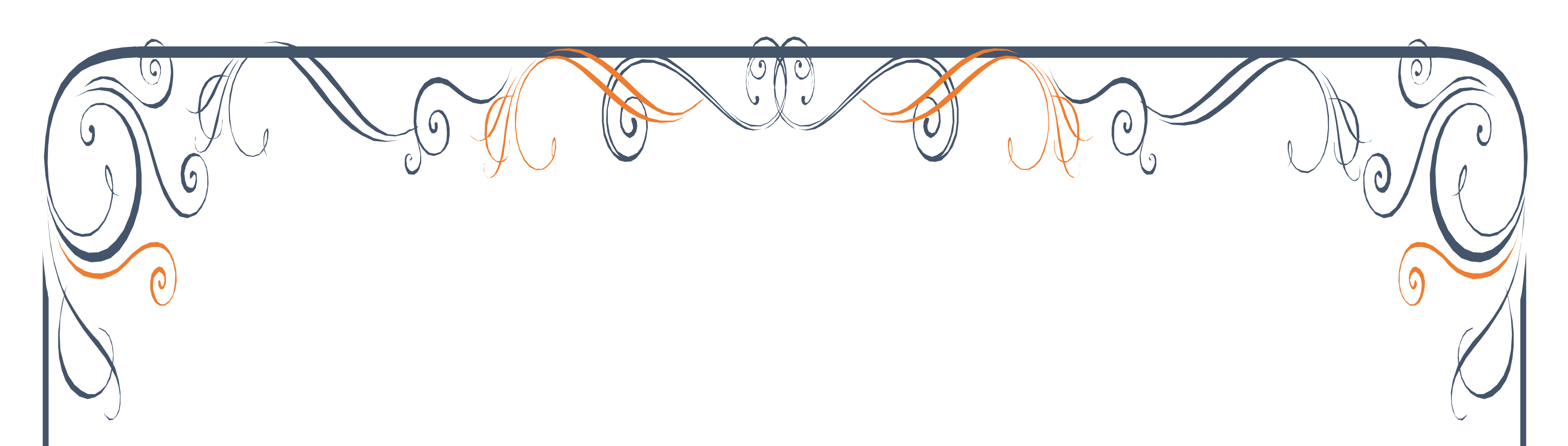
والثانى : نتيجة الزيادة النسبية فى كمية الوقود بالنسبة للهواء أثناء تغيير الحمل .

وكلاهما يؤدى إلى الاحتراق الغير جيد . وعليه قامت الشركة بادخال الحقن الإلكترونى لتقليل هذه الأدخنة حيث أنه يحافظ على ارتفاع ضغط الحقن غير معتمداً على حمل المحرك ، وبذلك يضمن التذرير الجيد عند الأحمال المنخفضة جداً ، كما أمكن من خلال الحقن الالكترونى تجنب الحقن الزائد للوقود عن الحد الملاح لكمية الهواء وذلك بفضل الضبط الأتوماتيكى لكمية الوقود من خلال الكمبيوتر الذى يقوم برصد كمية الهواء ودرجة حرارته وسرعة المحرك ، وبناء على تلك المعلومات يقوم بحساب كمية الهواء داخل الاسطوانة ، و شكل (١٧ – ٣٧) يوضح الفرق بالنسبة لكمية الأدخنة المتصاعدة من المحرك الديزل Warlsila 32 متوسط السرعة بالحقن الإلكترونى وبدون الحقن الإلكترونى .



Smoke test results from a Wärtsilä 32 medium speed engine with and without common rail fuel injection

شكل (١٧ – ٣٧)



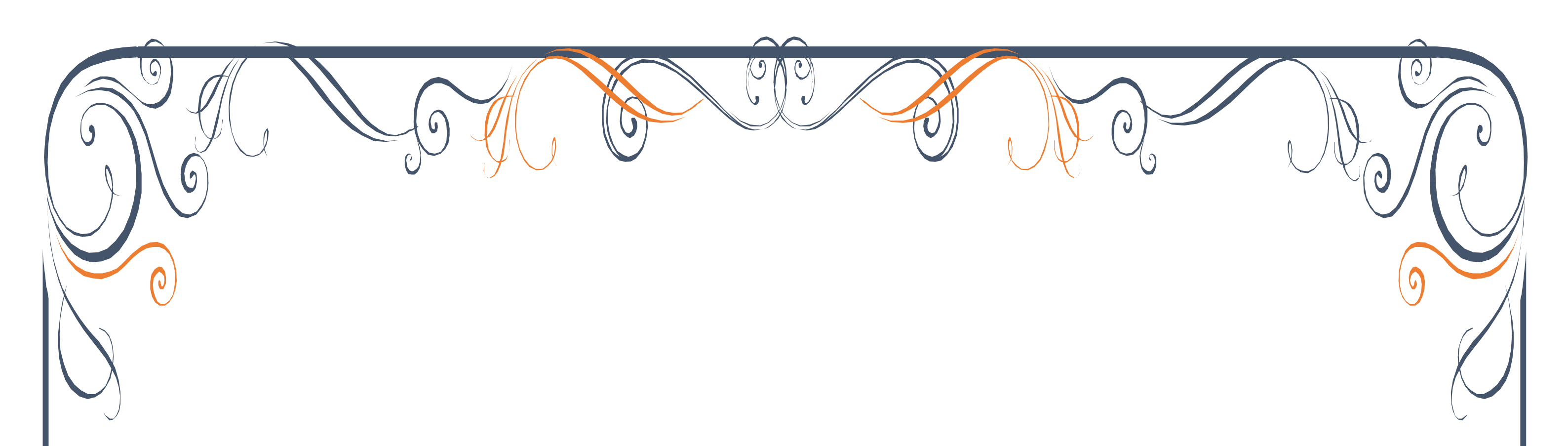
REFERENCES

A – Books : -

1. Pounder C.C. : Marine Diesel Engines, London 2005
2. Henshall S.H. : Medium & High Speed Diesel Engines, England 1972 .
3. Clark G.H. : Marine Diesel Lubrication, London 1970 .
4. John B . Wood ward, Low speed Marine Diesel, 1981 .
5. Thomas D.M. : Motor engineering Knowledge, Vol. 12 .
6. Petrovsky N. : Marine internal Combustion Engines , Moskow .
7. M.E.B.A. : Diesel for Marine Engineers , U.S.A.
8. Maleev V.L. : Internal Combustion Engines, California .
9. Wharton A.J. : Diesel Engines, London 1991 .
10. John Lamb : Running & Maintenance of the Marine Diesel Engines, London, 1973 .

B) Periodicals : from 1980 to 2002

1. The Motor Ship – London .
2. Marine Technology – London .
3. Sulzer Brothers Ltd. , Winterthur, Switzerland.
4. M.A.N.-B&W Marine Diesel Engines .
5. Doxford & Sunderland Ltd. , London .
6. Strok-Werkspoor Diesel, Amsterdam .
7. S.E.M.T. Pielstick Engines, Saint-Denis, France .
8. International Conference on training and Certification of Seafarers, July 1978 IMCO.
9. Rules and regulations for the construction and Classification of Steel ship 1980 .

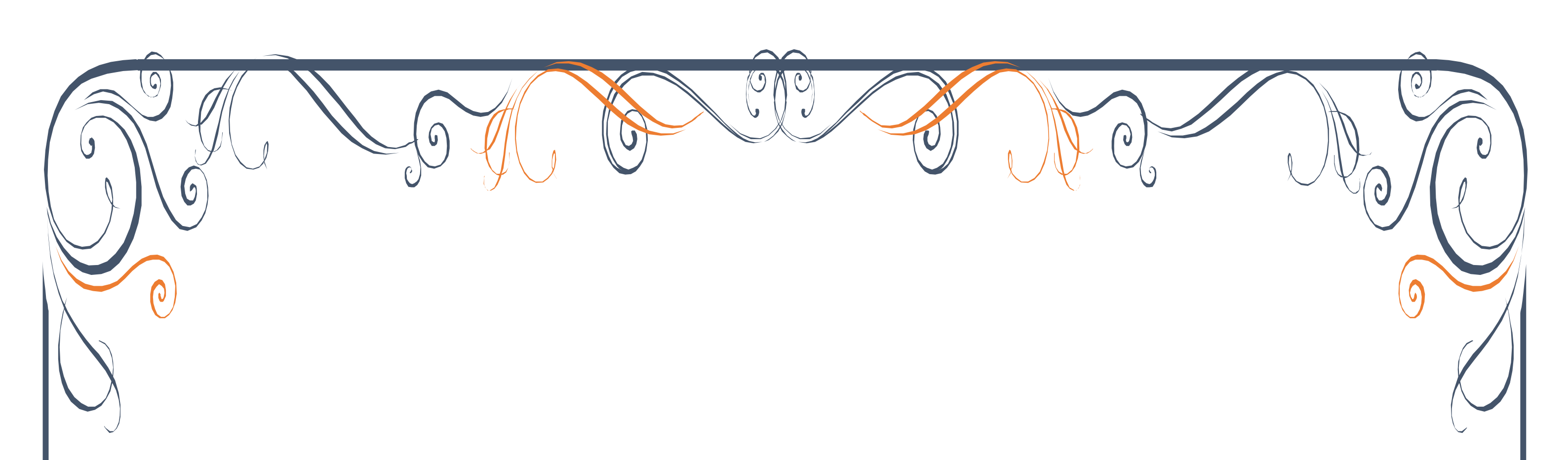


المصطلحات الفنيـة

TERMINOLGY

— A —

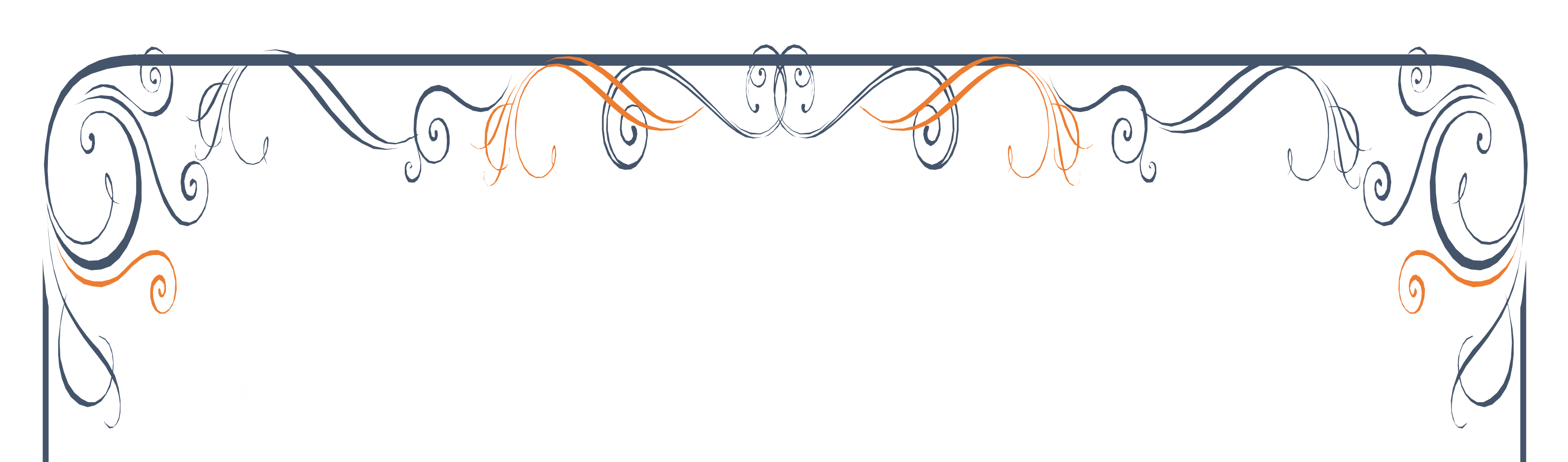
Abrasion	حك
Absolute pressure	ضغط مطلق
Acceleration	العجلة
Access	سهولة الوصول للجزء
Action	تأثير
Additives	اضافات
Adhesion	التصاق
Adiabatic	واقع بدون فقد أو كسب للحرارة
Adjustment	ضبط ، تعديل
A — Frame	هيكل
Ahead	للامام
Air — Vessel	اسطوانة الهواء
Alarm	انذار
Alignment	إستقامه
Alkaline	قلوى
Amplitude	سعة
Analysis	تحليل
Applications	تطبيقات



Arrangement	ترتيب
Articulating arm	ذراع متأرجح
Ash Content	مقدار الرماد
Astern	للخلف
Atomizaticn	تذرير ـ التذرية
Automaticn	التشغيل الآلي
Auxillary Engine	محرك مساعد

— B —

Balance Weights	اثقال اتزان
Balancing	اتزان
Ball - Bearing	رمان بلي – محمل الكريات
Bar	بار (وحدة الضغط)
Bearing	محمل ، كرسى
Bedplate	فرش ، قاعدة
Bellows	منفاخ
Bending Stress	اجهاد الثنى
Blanking Device	وش أعمى
Blockinc Device	وسيلة تثبيت
Blower	مروحة ـ نافخ
Bclting Down	تثبيت
Bore-Cooling	تبريد قطرى
Bottom End	نهاية كبرى ، سفلى
Boundary Lubrication	تزييت حدى

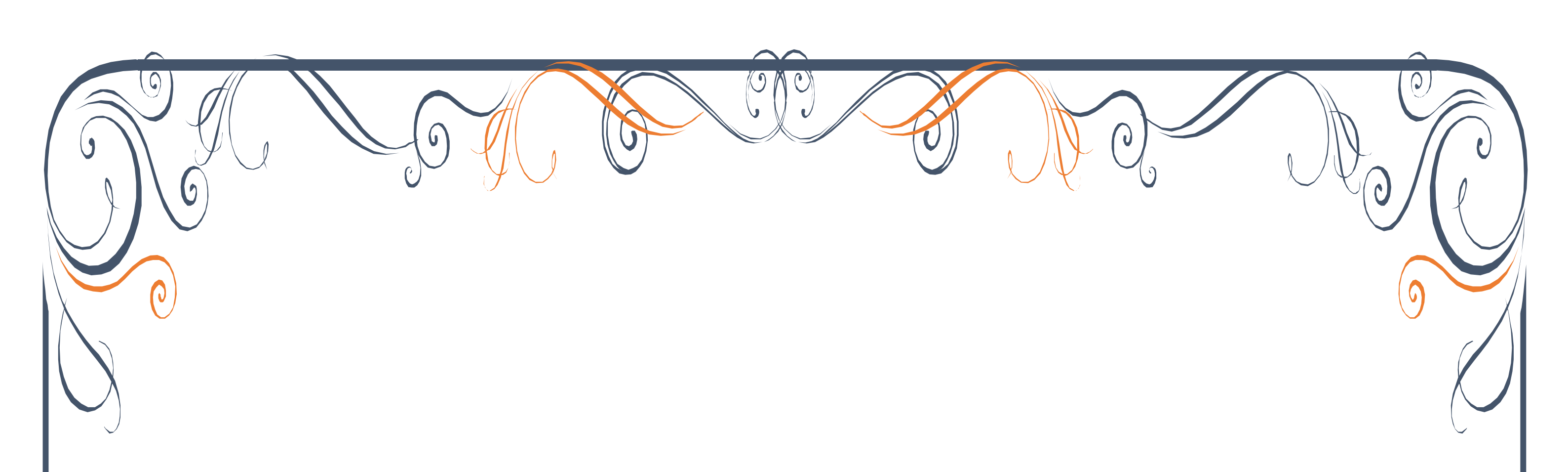


Bracket	سناد
Brake power	القدرة الفرملية
Bridge Gauge	جهاز الكوبرى / القنطرة
Bush	جلبه
Bursting - Disc	قرص انفجار

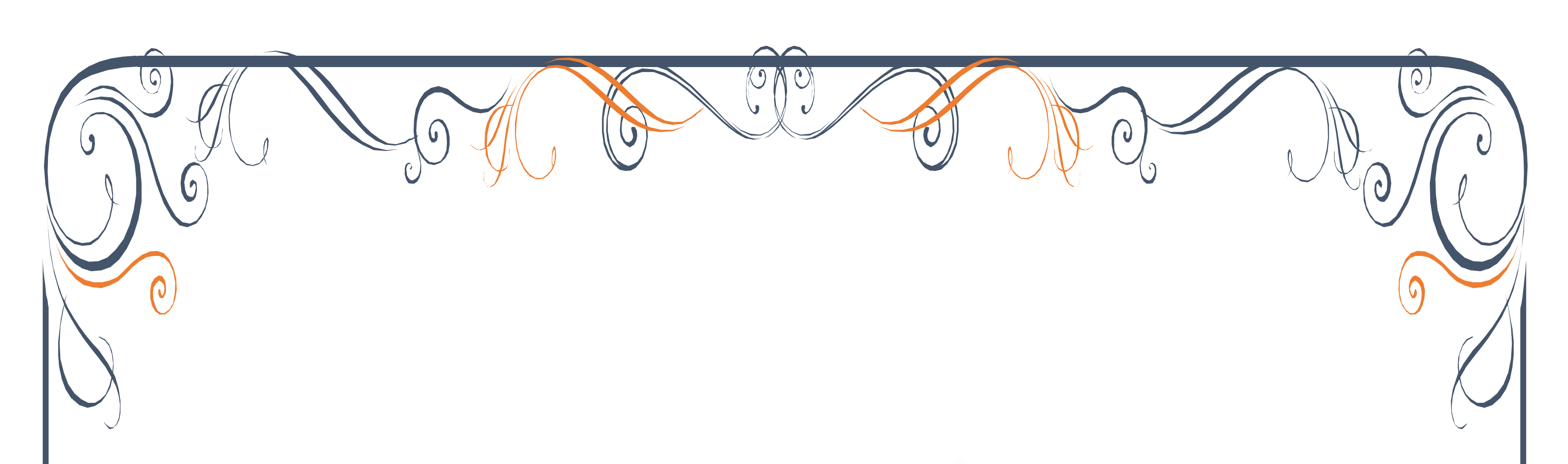
— C —

Calorific Value	القيمة الحرارية
Calorimeter	المسعر، جهاز لقياس كمية الحرارة
Cam	حدبة ، كامة
Cam - Shaft	عمود الحدبات ، الكامات
Capital Charges	المصاريف الثابتة
Cavitation	تكهف
Cavity	تجويف ، فجوة
Centralized	مركزى
Centrifugal Force	القوة الطاردة المركزية
Centrifuging Casting	صب بالطرد المركزى
Chain	كتينة
Charging the Cylinder	شحن الاسطوانة
Chocked	مسدود
Chocks	صدمات
Circuit	دائرة
Clarifier	حوض مروق
Classification	تصنيف



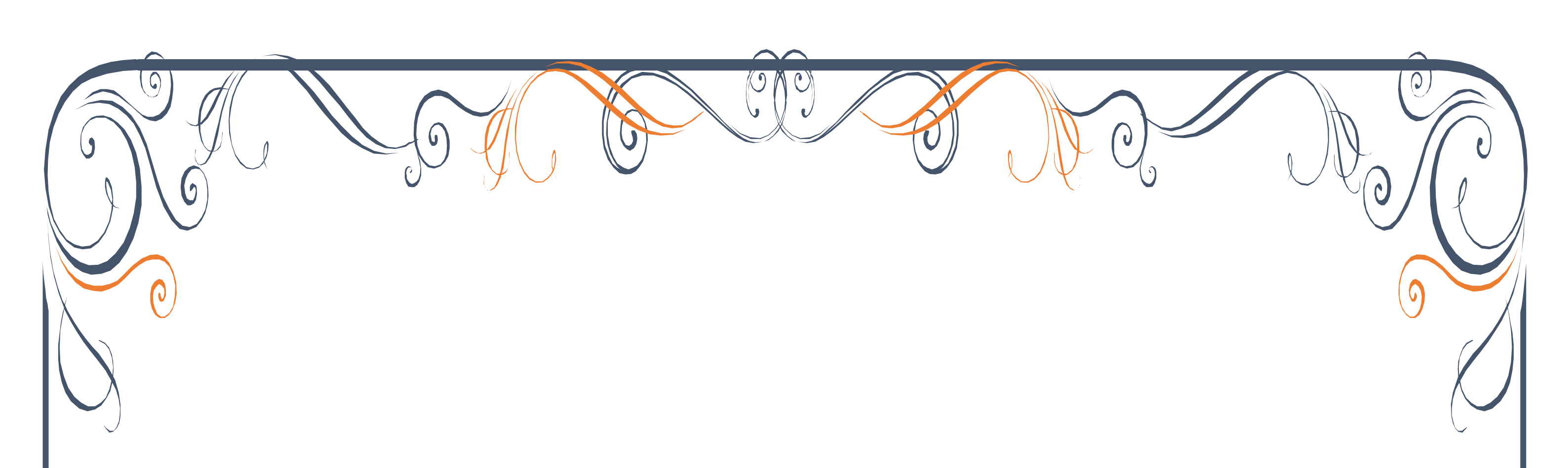


Clearance	خلوص
Clearance Volume	حجم الخلاص
Cloud Point	نقطة التغيم
Clutch	القابض . جهاز تعشيق التروس
Cocktail Shaker Effect	تأثير بالخض
Coefficient	معامل
Cohesion	تماسك بين الاجزاء
Columns	أعمدة
Combination	ضم ، توحيد
Combustion	احتراق
Combustion Chamber	غرفة الاحتراق
Comparator	للمقارن
Comparison	مقارنة
Compatible	منسجم ، متلائم
Composition	مركب ، مكونات
Compression	انضغاط
Compression Ratio	نسبة الانضغاط
Compressor	ضاغط
Computer	حاسب ألكترونى
Concave	مقعر
Connecting Rod	ذارع توصيل
Constant	ثابت



Constructive Design	تصميم انشائى
Control	تحكم
Controllable Pitch Propeller	رقاص متغير الخطوة
Controller	المشغل ، الضابط ، الموجه
Consumption	استهلاك
Contamination	تلوث
Convertor	محول
Convex	محدب
Cooler	مبرد
Corrosion	تآكل
Couple	أزدواج
Coupling	موصلة ، قارنه
Crack	شرخ
Cracking	يتكسر الى مركبات أبسط
Crank Angle	زاوية المرفق
Crankcase	صندوق المرفق
Crankpin	بنز الركبة
Crankshaft	عمود المرفق
Crankshaft Throw	ركبة
Critical Speed	سرعة حرجة
Cross - Head	رأس أنزلاق
Cross - Scavenge	كسح عرضى

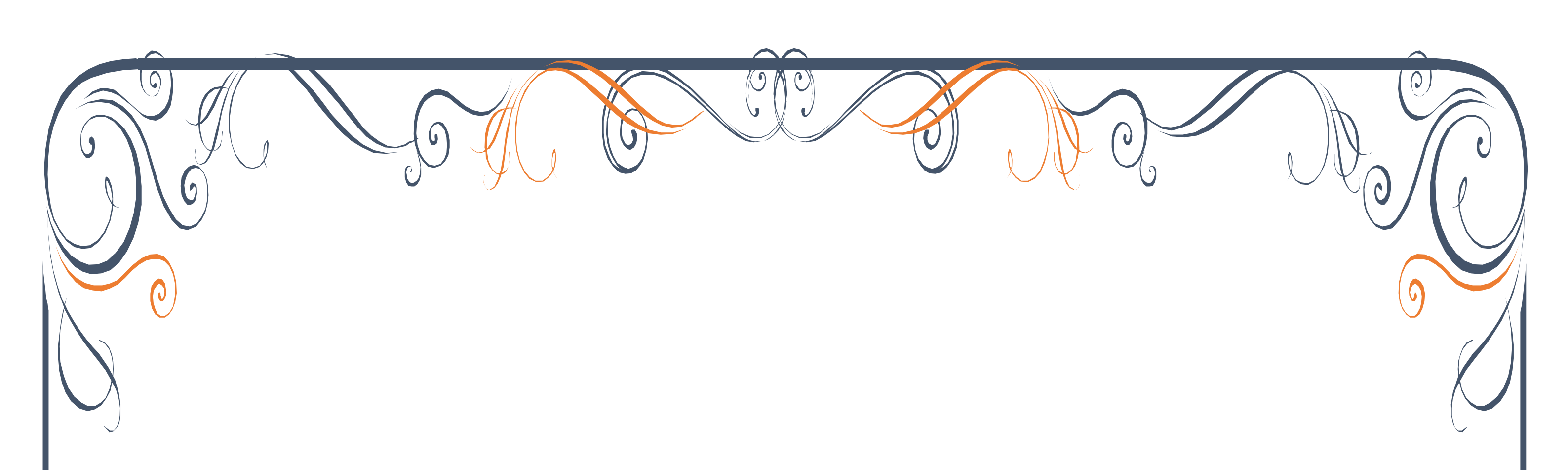




Crown	تاج
Cutout	قاطع
Cycle	دوره
Cylinder	أسطوانة
Cylinder Cover Cylinder Head	غطاء ، رأس الاسطوانة
Constant Pressure System	نظام الضغط الثابت

— D —

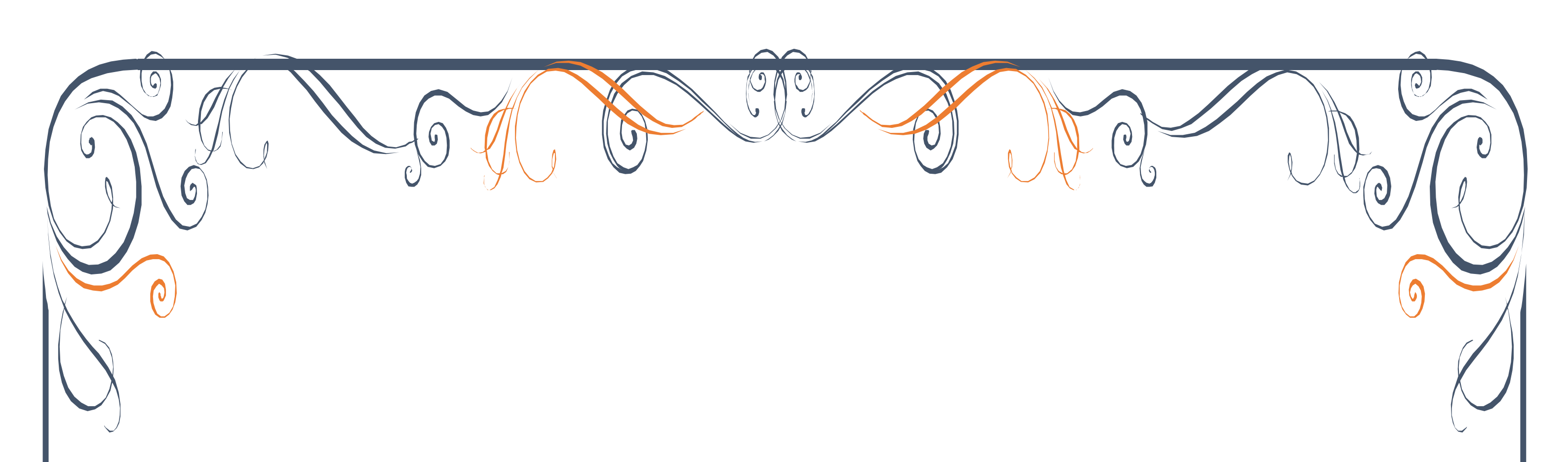
Defects	عيوب
Delivery Valve	صمام طرد
Deposits	رواسب
Depressant	مخفض
Design	تصميم
Detergent	مطهر
Deterioration	تلف ، فساد
Dew - Point	نقطة الندى
Diesel Engine	محرك ديزل
Diesel Index	دليل الديزل
Diffuser	الناشر
Dilution	تحلل ، تخفيف
Dimensions	مقاسات
Direction Of Rotation	اتجاة الدوران
Dirty Tank	صهريج القاذورات



Dispersant	مشتت
Distillation	تقطير
Distorsicn	أنبعاج ، التواء
Distributor	موزع
Dowel	فولة / رساد
Drain	مصفاه
Draw Card Diagram	منحنى مفرود أو مستمر
Dribbling	تسييل
Drive	وسيلة الاداره
Dynamic Load	حمل متغير

— E —

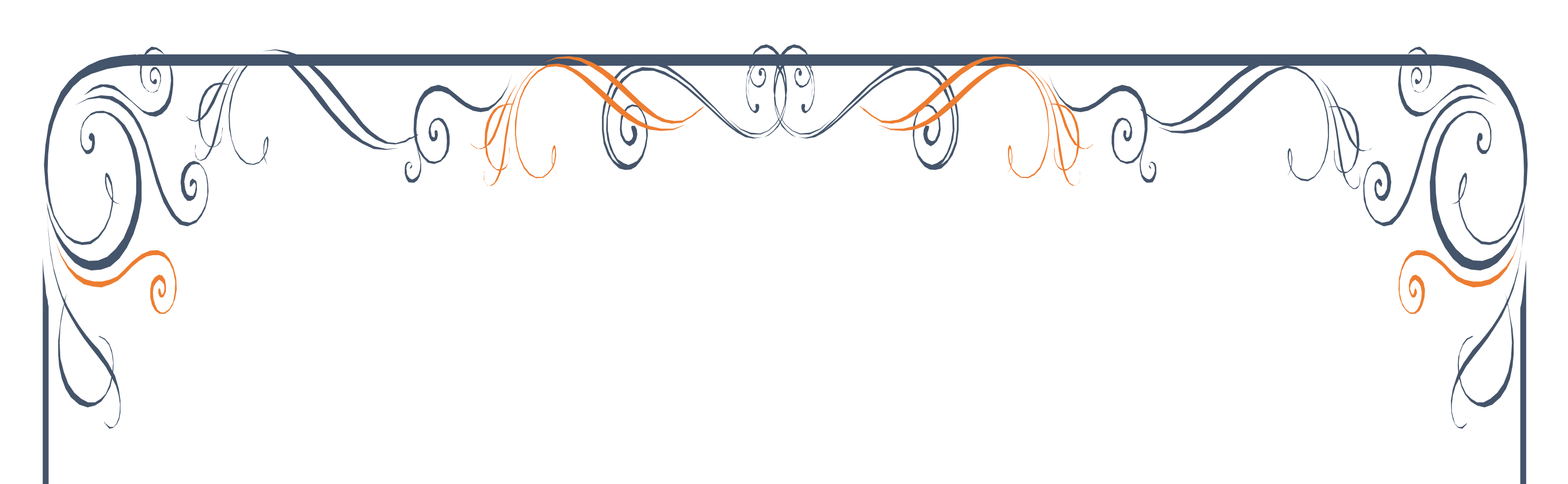
Eccentric	لامتمركز
Effective Stroke	مشوار فعال
Efficiency	جودة ، كفاءة
Elastic Limit	حد المرونة
Element	عنصر
Emulsicn	استحلاب
Endurance Limit	حد الأحتمال
Energy	طاقة
Equation	معادلة
Error	خطأ
Errosicn	تآكل ، تعرية ، نحر
Excess - Air Factor	معامل زيادة الهواء



Exchange	تبادل
Exciting Force	قوة مثيرة ، نشطة
Exhaust	عادم
Expansion	تمدد
Explosion	أنفجار
Explosive - Mixture	خليط قابل للاشتعال

— F —

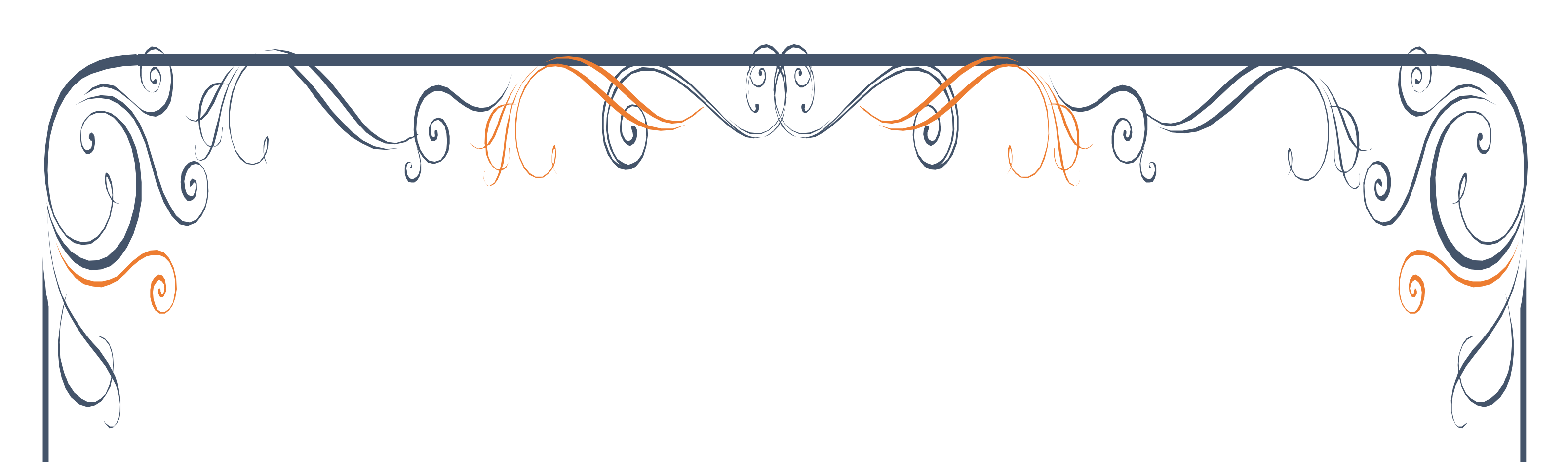
Factor	عامل
Failure	أنهيار ، إخفاق
Fatigue Stress	اجهاد الكلال
Feed Back	تغذية خلفية
Filter	مرشح ، مصفاة
Filter Paper	ورق النشاف
Firing Order	ترتيب الحريق
Flame Front	واجهة لهب
Flame Trap	مصيدة لهب
Flap	يرفرف – رفرف
Flash Point	نقطة الوميض
Flexible	مرن
Floating Link	القضيب العائم
Flow	تدفق ، سريان
	مائع ، سائل



Foam	رغوة
Force	قوة
Forced Vibration	اهتزازات قسريه
Foundation	أساس ، قاعدة
Frequency	تردد
Friction	أحتكاك
Fuel	وقود
Fuel Valve	حاقن ، صمام حقن الوقود
Function	عمل
Fundamental	أساسي
Fusible Plug	طبه قابلة للانصهار

— G —

Gasket	حشية ، جنطة
Gas Turbine	توربين غازى
Gear	ترس
Generator	مولد
Girders	اعصاب
Gland	سدادة احكام
Governor	منظم
Grinding	تجليخ
Guides	أدلة
Gum	مواد صمغية
Gutter	مجرى



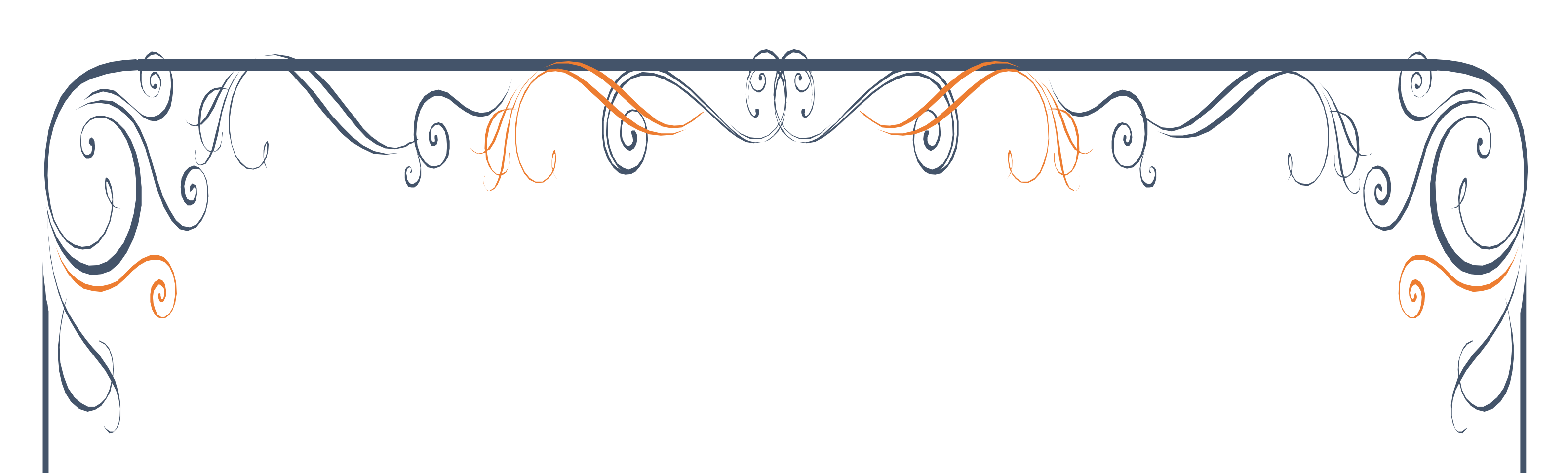
— H —

Hammer test	اختبار طرق
Hammering	دق
Hardness	صلابة
Hardness	عسر
Heat Balance	الاتزان الحرارى
Heat Engines	محركات حرارية
Heat Resisting Steel	صلب مقاوم للحرارة
Helical Groove	مجرى حلزونية
Historical Review	نبذة تاريخية
Hot - Spot	النقطة الساخنة
Housing	غطاء ، وقاء ، قفص
Hunts	يتأرجح
Hydraulic	هيدروليكى

— I —

Ideal	مثالى
Ignition	اشتعال
Ignition Lag	فترة التعوق ، عطل الاشتعال
Ignition Quality	نوع الاشتعال
Impeller	مروحة ، قرص
Impinge	يرتطم ، يصطدم
Improver	محسن
Incandesent Carbon	كربون متوهج



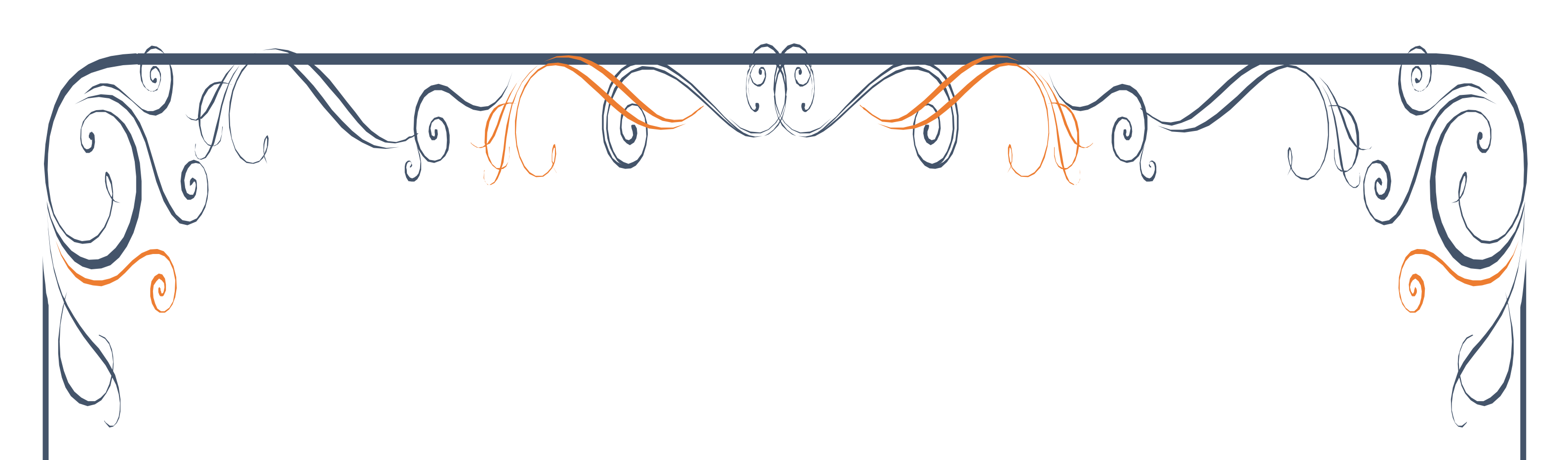


Indicaded Power	القدرة البيانية
Indications	دلائل
Indicator	جهاز لقياس القدرة البيانية
Indicator Diagram	المنحنى البيانى
Inducer	المستقبل
Induction	حث ، تأثير
Inertia - Forces	قوى القصور الذاتى
Inhibitor	مانع
Injection	حقن
Injector	حاقن
Inspection	فحص ، معاينة
Instruction Book	كتاب التعليمات
Insufficient	غير كاف ، منخفض
Interlock	تعشيقة ، وسيلة تأمين
Internal Comustion Engine	محرك الاحتراق الداخلى
Irregularly	غير منتظم
Isothermal	متساوى الحرارة

— J —

Jacket	جسم ، غلاف خارجى
Jamming	يتعطل عن الحركة
Joule	جول (وحدة الشغل)
Journal	بنز رئيسى





— K —

Kelvin	درجة الحرارة
Knock	خبط ، دق

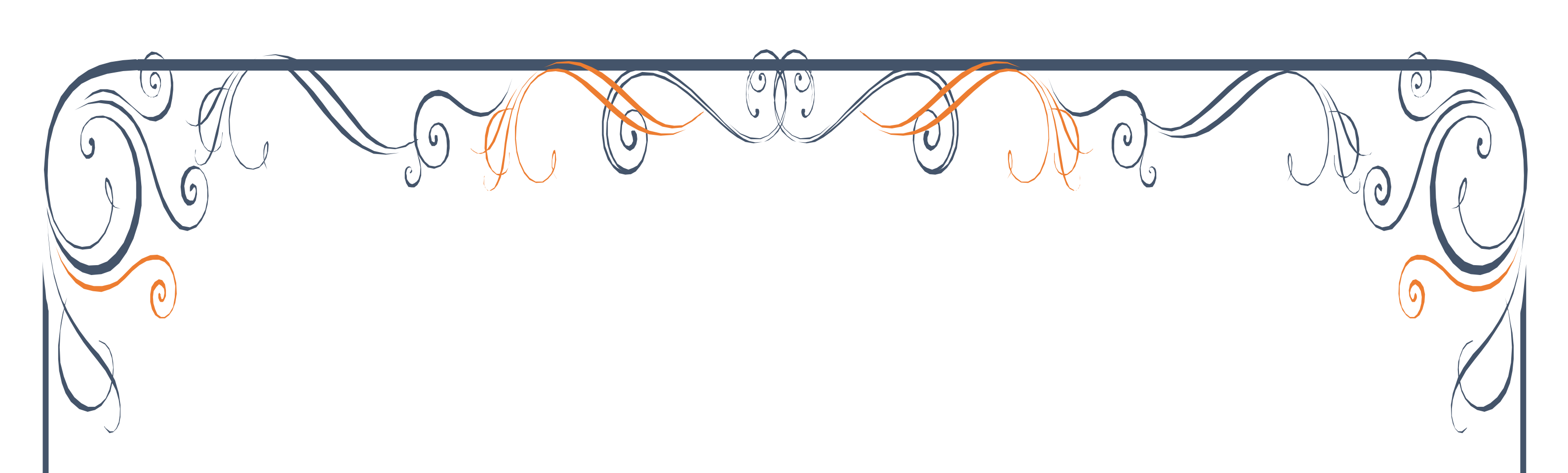
— L —

Labyrinth gland	سدادة معقدة
Leakage	تسريب ، تفويت
Level	مستوى
Lightness	خفة الوزن
Linear	خطى
Line engine	محرك خطى
Liner	قميص ، جلبة الأسطوانه
Loading Device	جهاز تحميل
Log	تسجيل
Logic	منطقى
Loop - Scavenge	كسح دائرى
Lost Motion	حركة مفقود
Lubrication	تزبيت
Lubricator	مزبتة

— M —

Main Engine	محرك رئيسى
Maintenance	صيانة
Manual	يدوى



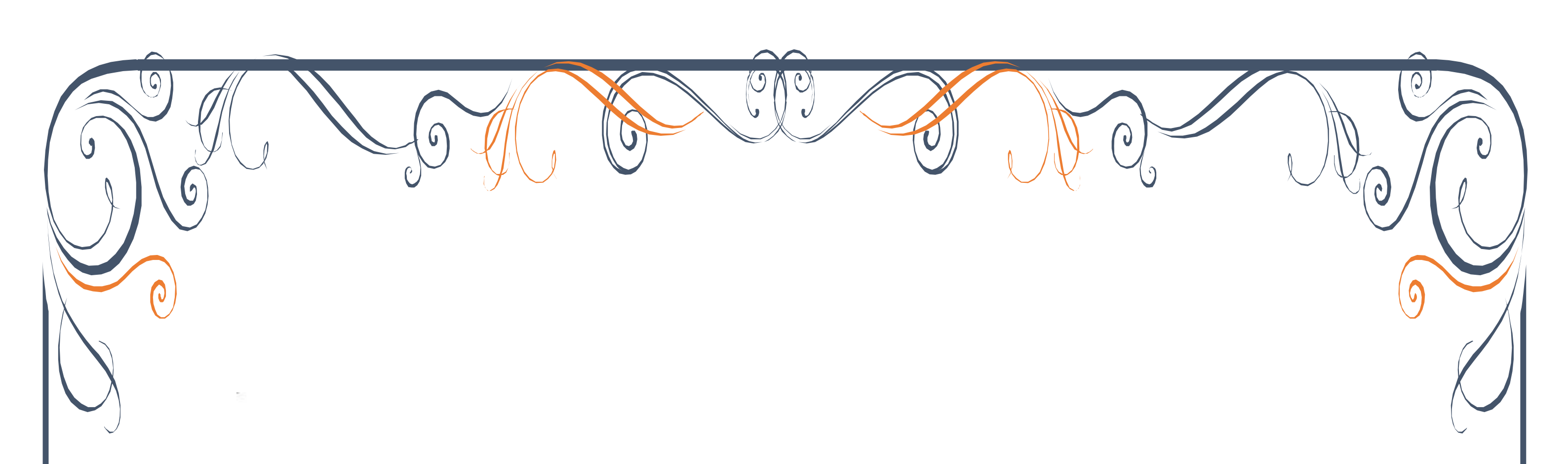


Manufacture	صنع ،صناعة
Mass	كتلة
Match	ملائم ، مناسب
Measuring	قياس
Mechanism	أجزاء الحركة ، آلية
Medium Speed Engine	محرك متوسط السرعة
Method	طريقة
Mist	ضباب
Mist - Detector	كاشف الضباب
Modified	معدل
Mixed	مختلط
Mixing Tank	صهريج الخلط
Modulus of Elasticity	معامل المرونة
Modulus of Rigidity	معامل الصلابة
Monitor	مرقاب
Motion	حركة
Multi - Stage	متعدد المراحل

— N —

Needle	أبرة
Neutralizatiou Value	رقم ، قيمة التعادل
Newton	نيوتن (وحدة القوة)
Node	عقدة





Normalizing	معادل حرارية
Notifying	أخطار ، ابلاغ
Nozzle	فوهة ، فونية

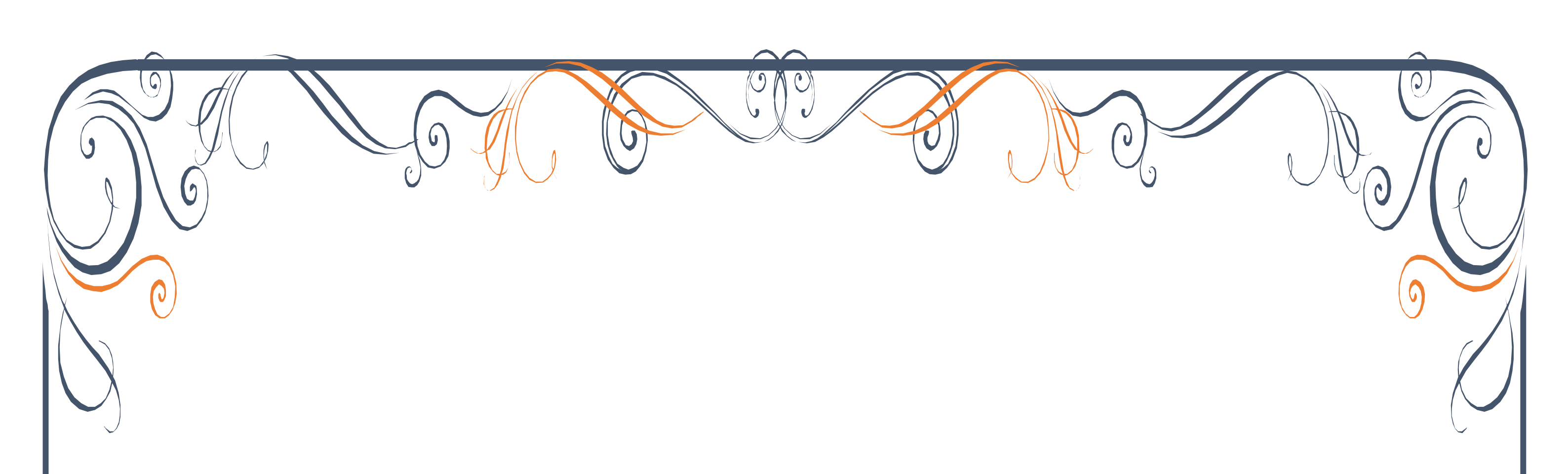
— O —

Offset	خطأ ثابت
Oil cooled piston	مكبس مبرد بالزيت
Oil - Film	طبقة الزيت
Oilness	الزيتيـــة
Operating cycle	دورة التشغيل
Operation	تشغيـل
Opposed piston engine	محرك ذات المكابس المتضادة
Ordinary	عادي
Out of phase	مخالف الوجه
Overheating	رفع درجة الحرارة
Overlap period	فترة التراكب ، التداخل
Overshoot	زيادة ، تجاوز الحد
Oxidation	تأكسـد

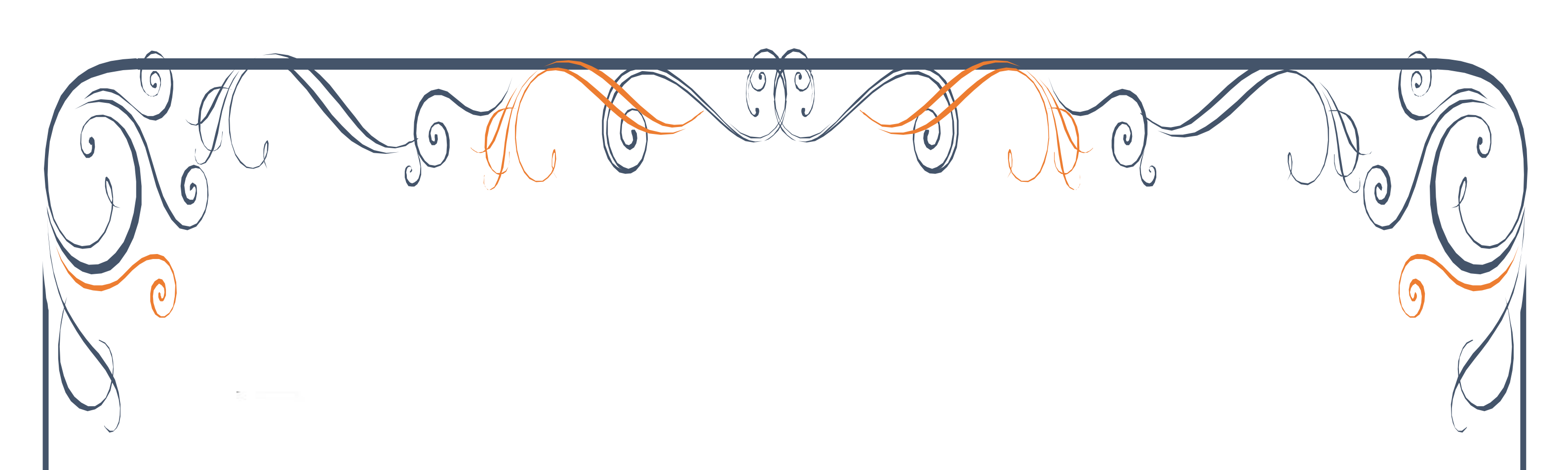
— P —

Panel	لوحة تشغيل
Peak	بروز
Penetration	تخلل ، إختراق
Perfect gas	غاز كامل





Performance curves	منحنيات الأداء
Periodical	دورى
Petrol Eengine	محرك بنزين
Phase angle	زاوية اختلاف الوجه
Photo - cell	خلية ضوئية
Piezo - electric	كهربى ضغطى
Pilot value	صمام المرشد ، بدليل
Piston	مكبس
Piston rod	عمود المكبس
Pitting	تنقير
Planimeter	جهاز قياس المساحة
Pneumatic	هوائى ، يعمل بالهواء المضغوط
Polishing	تلميع
Poppet exhaust valve	صمام عادم قفاز
Pour point	نقطة التدفق / الانصباب
Power	قدرة
Power card	بطاقة ، كارت القدرة
Precautions	احتياطات
Prefabricated steel	صلب مشكل
Premium oils	الزيوت الرائجة
Preparation	تحضير
Pressure	ضغط

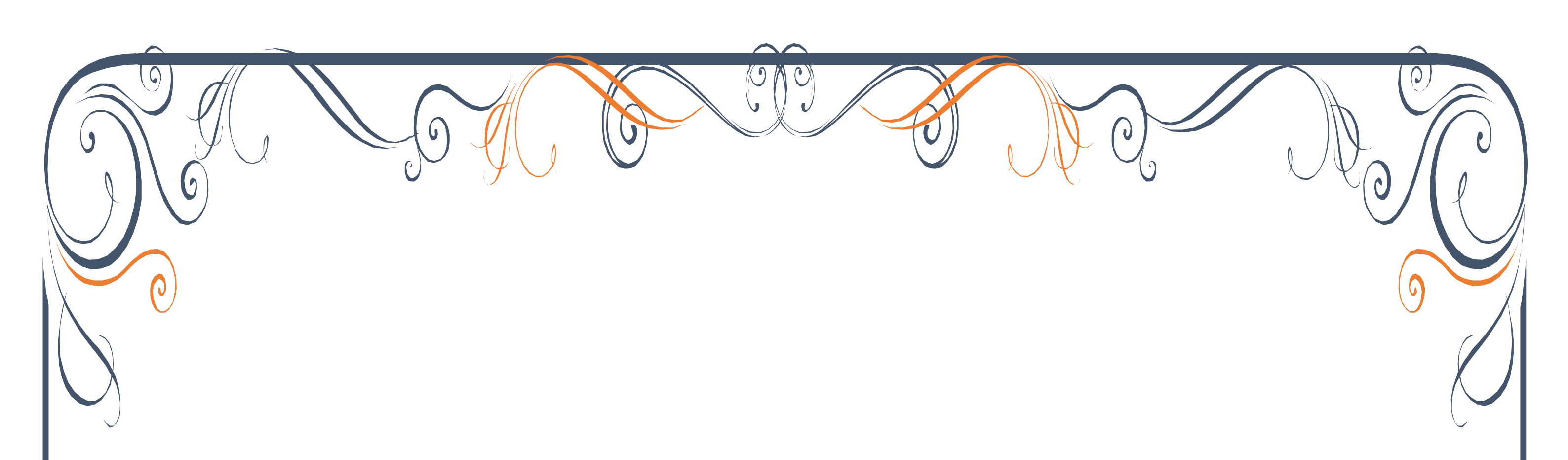


Pressure - charging	شحن زائد
Prevention	تجنب ، منع
Primary	ابتـــدائى
Prime - mover	محرك أساسى
Priming	التخلص من الهواء
Principles	قواعد ، أسس
Procedure	اجراء
Process	عمليـة
Program	برنامج
Propeller	رفاص
Propeller shaft	عمـود الرفاض
Properties	خصائص ، خواص
Proportional	تناسب
Protective	وقائى
Proximity	قرب ، تجاور
Pulse	دفع ، نبض
Purifier	منقى
Purpose	غرض
Push rod	عمود الدفع

— Q —

Quasi - static	شبه الساكنة
Quill	عمود دوران أجوف

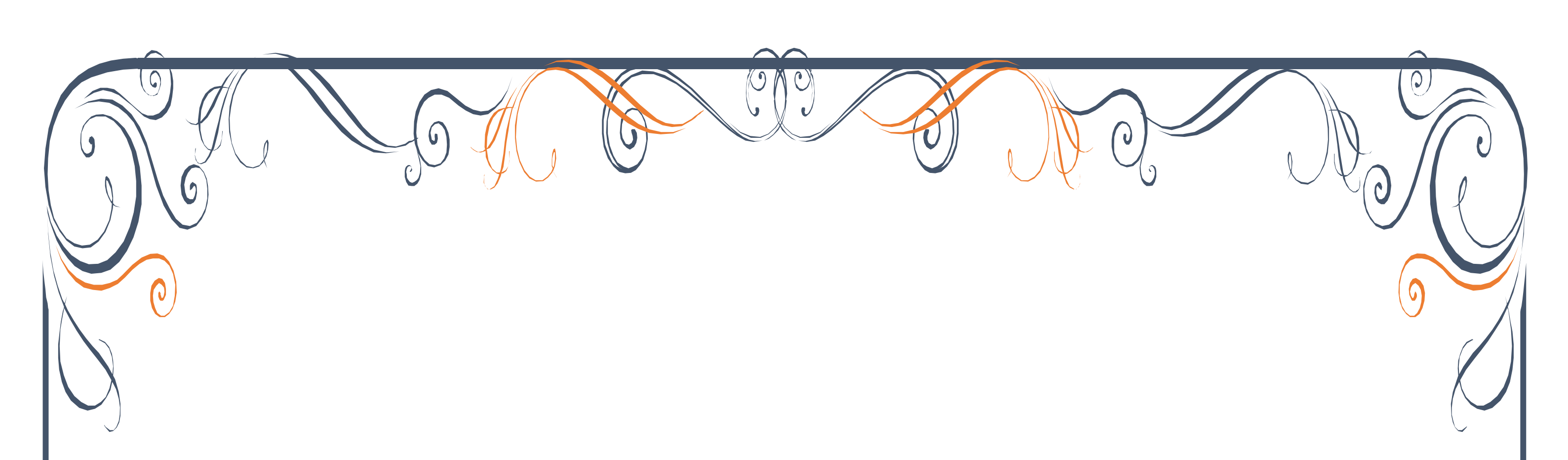




— R —

Rack	جريدة مسننة
Radial	نصف قطرى
Radian	زاوية نصف قطرية
Radical engine	محرك قطرى
Rate	معـــدل
Recharge	اعادة شحن
Reciprocating	ترددى ، انتقالي
Recording unit	وحدة تسجيل
Rectifier	موحد
Registration	تسجيـل
Regulating valve	صمام تنظيم
Regulations	نظم ، قواعد
Relation	عـلاقة
Relative	نسبي
Relief valve	صمام تصريف
Remote control	تحكم من بعد
Replacing	تغيير
Requirements	مطالب
Reset	اعادة الوضع
Residual fuel	الوقود المتبقى ، الثقيل
Residues	المواد المتخلفة أو المتبقية



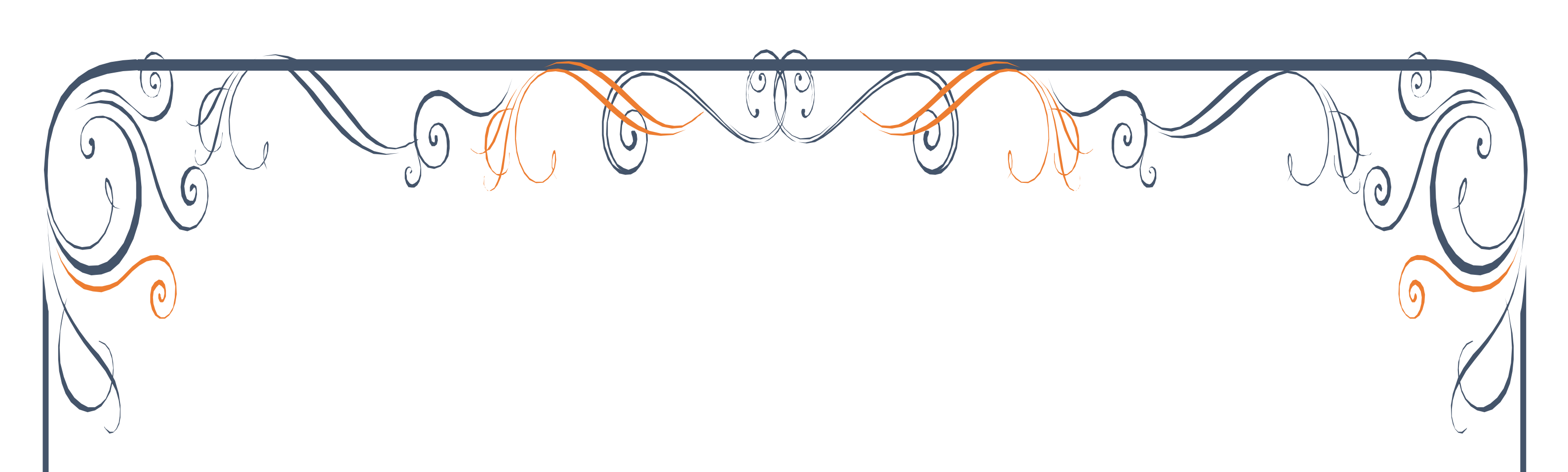


Resonance	رنين
Response	استجابة
Resultant	محصلة
Revelutions	لفات
Peversible engine	محرك يمكن عكس اتجاه دورانه
Review	نبذة
Rigidity	صلابة
Rings	حلقات ، شنابر
Rocker arm	الرافعة المتأرجحة
Roll	يدور على محور
Roller	اسطوانة ، دحروج
Rolling	دحرجة
Rotary	دوار ، دورانى
Rotatcr	دوّار
Rotocap	الدوار ، مسبب الدوران
Roughness	خشونة

— S —

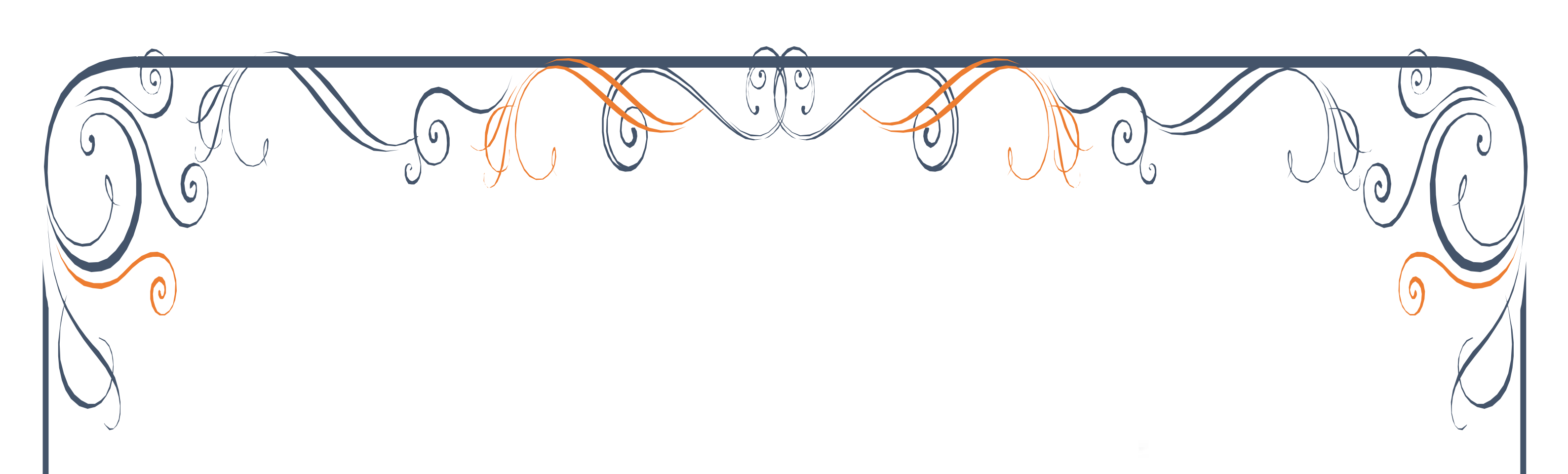
Safety valve	صمام أمان
Scanner	فاحص ، وحدة المسح
Scavenge	كسح
Scavenge effeciency	كفاءة الكسح
Schedule	برنامج ، مخطط





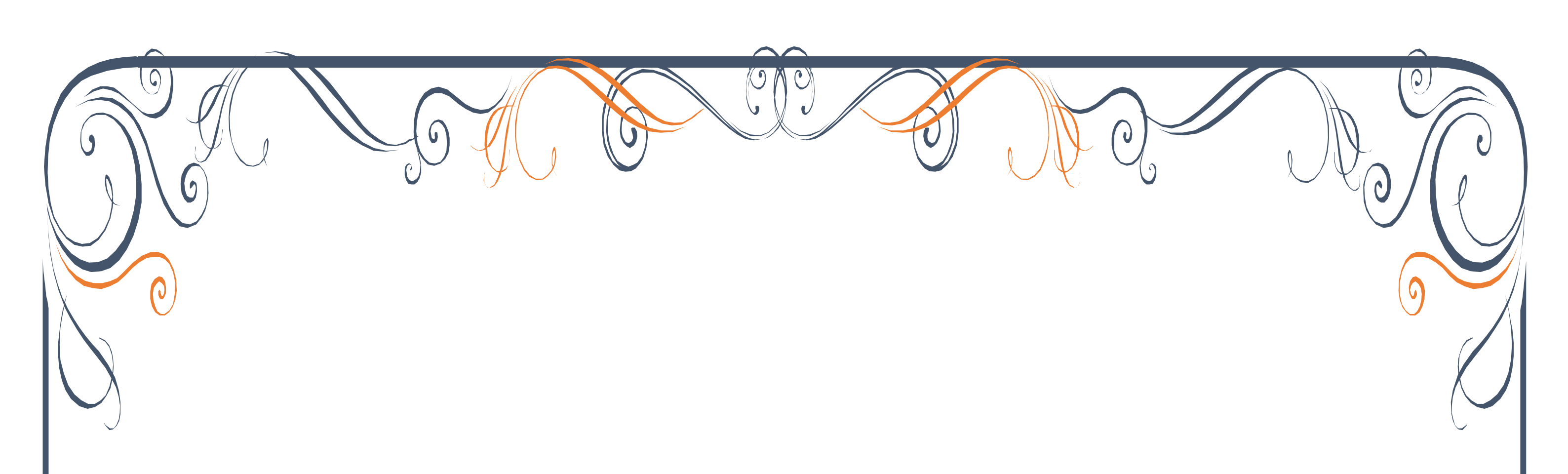
Scoop - control	تحكم بالمغرفة ، مغرفه
Screw	حلزونى
Seal	أحكام
Secondary injection	حقن ثانوى
Seizure	قفش ، التصاق
Selector	المنتقى ، المختار
Self - ignition	اشتعال ذاتى
Self - lubricating	تزييت ذاتى
Self - Supporting	مُدعم نفسه
Semi - conductor	شبه موصل
Semi - diesel engine	محرك نصف ديزل
Sensitivity	حساسية
Sensor	جهاز الاحساس
Separator	فاصل
Service	خدمة
Servomotor	مؤازر ، مقوى
Settling tank	صهريج الترسيب
Setting - time	زمن الاستقرار
Shaft	عمود
Sheer stress	اجهاد القص
Shell backing	بطانة القمة
Shims	رقائق معدنية





Shock stress	اجهاد الصدمات
Shrink	ينكمش
Shuttle	مكوك ، قلب
Simple harmonic motion	الحركة التوافقية البسيطة
Slag	خبث
Slide	ينزلق
Slip	انزلاق
Slipper	خف ، حذاء
Sludge	رواسب طينية ، وحل
Solid injection	حقن مباشر
Sounding	قياس العمق
Spare parts	قطع غيار
Spark	شرارة
Specific - gravity	الوزن النوعي
Speecific heat	الحرارة النوعية
Speed	سرعة
Spheriodial graphite iron	حديد ذات الجرافيت الكروى
Spill	تصريف الفائض
Spindle	عمود ، ساق
Splash	طرطشة
Spot test	اختبار البقعة
Starting	تشغيل المحرك ، بدء حركته



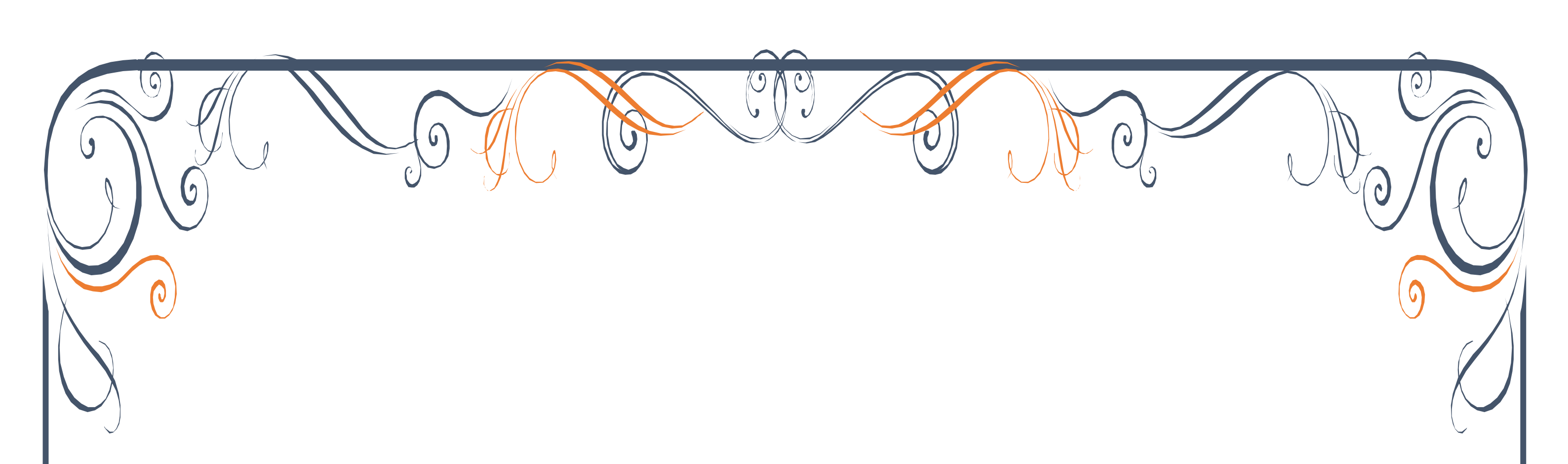


English	Arabic
Static	ساكن
Steadiness	استقرار
Steam	بخار
Strainer	مصفاة
Strength	متانه
Stuffing box	صندوق حشو مانع التسريب
Suction	سحب
Super-charging	شحن زائد ، جبرى
System	دائرة ، نظام
Sump	حوض الزيت ، علبة المرفق
Suppressant	خامد
Surge	صراخ ، جيشان
Survey	معاينة ، فحص
Synchronized	متزامن ، متواقت

— T —

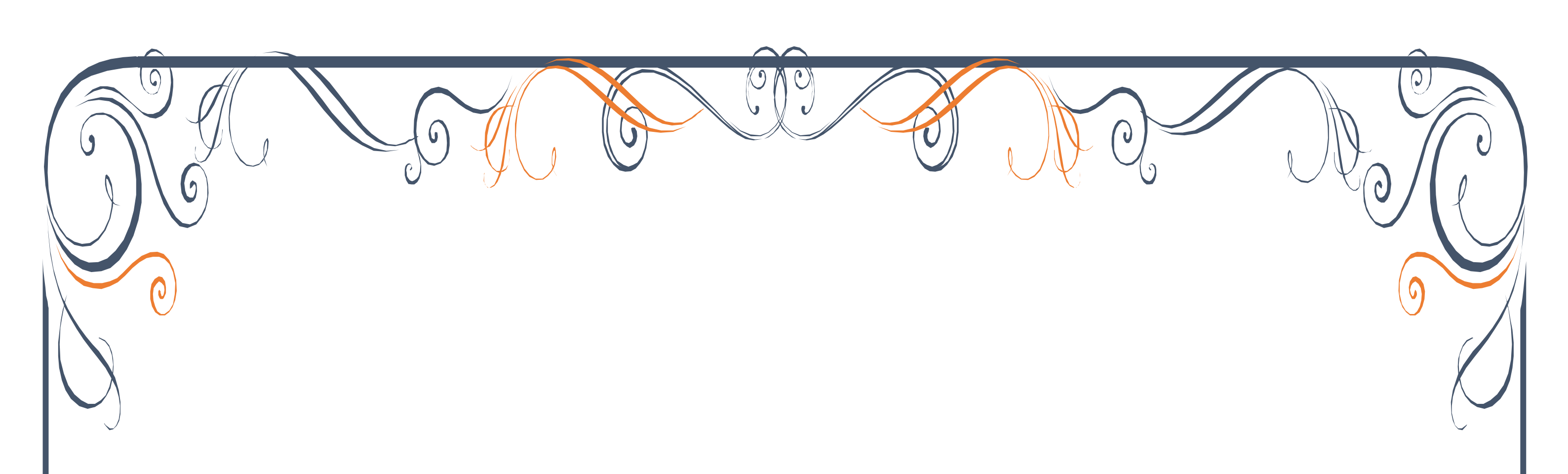
English	Arabic
Tachometer	جهاز لقياس سرعة الدوران
Tangential	مماسي
Tangential force	قوة مماسة
Tappet clerance	خلوص الاصبع الغماز
Telescopic pipe	ماسورة تلسكوبية
Temperature	درجة الحرارة
Tempering	مراجعة





Tensile stress	اجهاد الشد
Tensioning	شـــد
Thermal stresses	اجهادات حرارية
Thermal units	وحدات حرارية
Thermistor	مقاوم حرارى
Thermo - couple	ازدواج حرارى
Thermo - dyuamic	ديناميكا حرارية
Thermostat	منظم حرارى
Thrust	دفّاع
Thrust bearing	كرسى الدفع
Tie - bolt	مسامير شد أو شداد
Tightening	رباط ، احكام
Timing diagram	منحنى التوقيت
Torque	عزم الدوران
Torsional vibrations	ذبذبات اللي
Torsion stress	اجهاد اللي
Total base number	الرقم القاعدى الكلى
Toughness	جساءه
Transducer	محول الطاقة
Transverse girders	أعصاب عرضية
Trip	سقاطة ، منظم ايقاف
Troubles	متاعب ، أعطال





Trunk piston	مكبس جذعى
Turbine	توربينة
Turbo - charging	شحن بالتوربينة
Turbulance	اثاره ، دوامية
Turning gear	ترس ، جهاز التقليب
Turning moment	عزم دوران
Twist	التواء
Typical	نموذجى

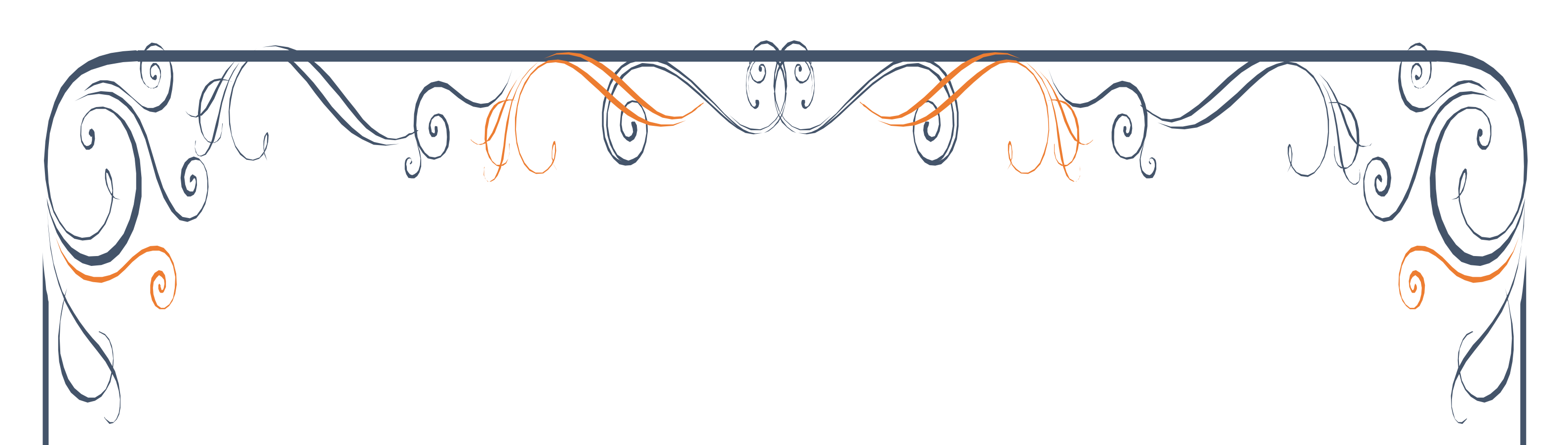
— U —

Uni - direction	اتجاه واحد
Uni flow - scavenge	كسح طولى
Unmanned	غير مزود بأفراد

— V —

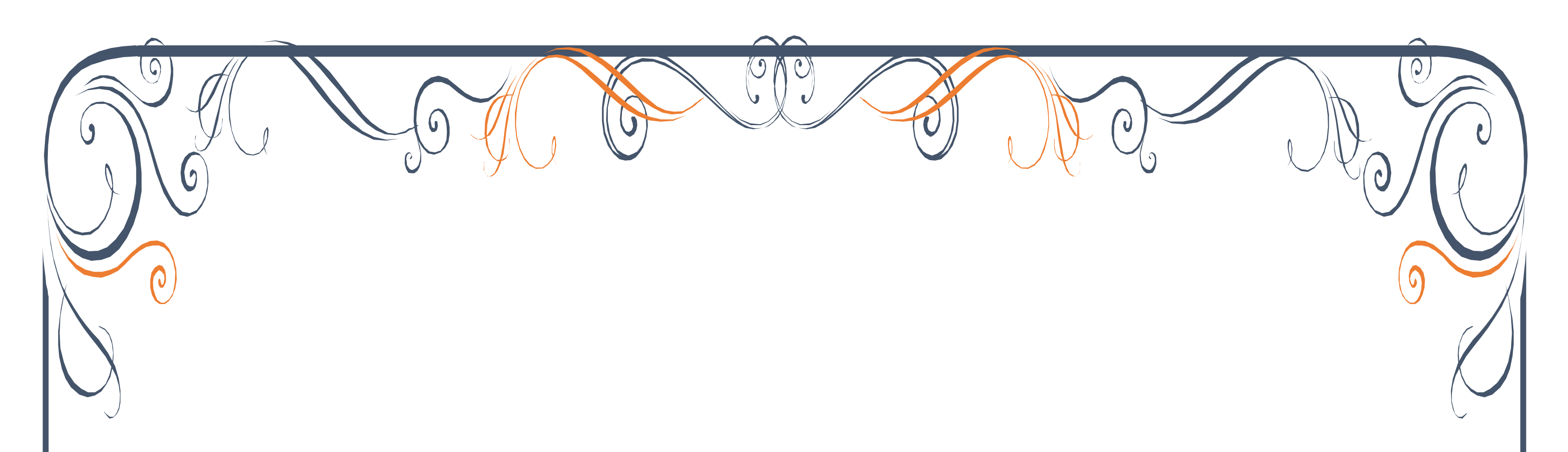
Valve	صمام
Vapour	بخار
Varnish deposits	رواسب ورنيشية
V-engine	محرك على شكل
Vibrations	اهتزازات ، ذبذبات
Violent	عنيف ، شديد
Viscometer	جهاز قياس اللزوجة
Viscosity	لزوجة
Volatility	قابلية التطاير





— W —

Watch	النوبة
Water ccoled piston	مكبس مبرد بالماء
Watt	وات (وحدة القدرة)
Wear	نحر ، برى
Web	فخدة
Wedge film	أسفين زيتى
Weight	وزن
Wire - gauze	شبكة معدنية
Work	شغل



رقم الايداع ٥٤١٥ / ٨٤

الرقم الدولى ٥ ـ ٠٤٧٩ ـ ٠١ ـ ٩٧٧

٦٦٩ .

